



Neve e Valanghe

Meteorologia alpina, Glaciologia, Prevenzione e Sicurezza in montagna

anno 2019

93



**Indirizzi e numeri telefonici
dei Servizi Valanghe AINEVA
dell'Arco Alpino Italiano**

REGIONE PIEMONTE

ARPA Piemonte
Dipartimento Sistemi Previsionali
Via Pio VII 9 - 10135 Torino
Tel 011 19681340 - fax 011 19681341
<http://www.arpa.piemonte.it>
e-mail: sistemi.previsionali@arpa.piemonte.it

REGIONE AUTONOMA VALLE D'AOSTA

Assessorato Opere pubbliche, difesa
del suolo e edilizia residenziale pubblica
Direzione assetto idrogeologico dei bilanci
montani
Ufficio neve e valanghe
Loc. Amérique 33/A - 11020 Quart (AO)
Tel. 0165 776600/1 - fax 0165 776804
Bollettino Nivometeorologico
Tel. 0165 776300
<http://www.regione.vda.it>
e-mail: u-valanghe@regione.vda.it

REGIONE LOMBARDIA

ARPA Lombardia
Settore Tutela delle Risorse e Rischi Naturali
U.O. Centro Nivometeorologico
Via Monte Confinale 9 - 23032 Bormio (SO)
Tel. 0342 914400 - Fax 0342 905133
Bollettino Nivometeorologico
<http://www.arpalombardia.it/meteo>
e-mail: nivometeo@arpalombardia.it

PROVINCIA AUTONOMA DI TRENTO

Servizio prevenzione rischi
Ufficio previsioni e pianificazione
Via Vannetti 41 - 38122 Trento
Tel. 0461 494870 - Fax 0461 238305
Bollettino Nivometeorologico
Tel. 0461 238939
Self-fax 0461 237089
<http://www.meteotrentino.it>
e-mail: ufficio.previsioni@provincia.tn.it

PROVINCIA AUTONOMA DI BOLZANO

Ufficio Idrografico, Servizio Prevenzione
Valanghe e Servizio Meteorologico
Viale Druso, 116 - 39100 Bolzano
Tel. 0471 416140 - Fax 0471 416159
Bollettino Nivometeorologico
Tel. 0471 270555
Tel. 0471 271177 anche self fax
<http://www.provincia.bz.it/valanghe>
e-mail: Hydro@provincia.bz.it

REGIONE DEL VENETO

ARPA-Veneto Centro Valanghe di Arabba
Via Pradat 5 - 32020 Arabba (BL)
Tel. 0436 755711 - Fax 0436 793119
Bollettino Nivometeorologico
Tel 049 8239399
<http://www.arpa.veneto.it>
e-mail: cva@arpa.veneto.it

REGIONE AUTONOMA FRIULI VENEZIA GIULIA

Direzione centrale risorse rurali, agroalimentari
e forestali
Servizio del Corpo forestale regionale
Settore neve e valanghe
Via Sabbadini 31 - 33100 Udine
Tel. 0432 555877 - Fax 0432 485782
Bollettino Nivometeorologico
NUMERO VERDE 800860377 (in voce e self fax)
[http://www.regione.fvg.it/asp/newvalanghe/
welcome.asp](http://www.regione.fvg.it/asp/newvalanghe/welcome.asp)
e-mail: neve.valanghe@regione.fvg.it

REGIONE MARCHE

Servizio Protezione Civile
Centro Funzionale Multirischi
per la Meteorologia e l'Idrologia
Via del Colle Ameno, 5 - 60126 Ancona
Tel. 071 8067743 - Fax 071 8067709
<http://www.protezionecivile.marche.it>
e-mail: spc.centrofunzionale@regione.marche.it

Sede AINEVA

Vicolo dell'Adige, 27
38122 Trento
Tel. 0461 230305 - Fax 0461 232225
<http://www.aineva.it>
e-mail: aineva@aineva.it

**Gli utenti di
"NEVE E VALANGHE"**

- Sindaci dei Comuni Montani
- Comunità Montane
- Commissioni Locali Valanghe
- Prefetture montane
- Amministrazioni Province Montane
- Genii Civili
- Servizi Provinciali Agricoltura e Foreste
- Assessorati Reg./Provinciali Turismo
- APT delle località montane
- Sedi Regionali U.S.T.I.F.
- Sedi Provinciali A.N.A.S.
- Ministero della Protezione Civile
- Direzioni dei Parchi Nazionali
- Stazioni Sciistiche
- Scuole di Sci
- Club Alpino Italiano
- Scuole di Scialpinismo del CAI
- Delegazioni del Soccorso Alpino del CAI
- Collegi delle Guide Alpine
- Rilevatori di dati nivometeorologici
- Biblioteche Facoltà Univ. del settore
- Ordini professionali del settore
- Professionisti del settore italiani e stranieri
- Enti addetti ai bacini idroelettrici
- Redazioni di massmedia specializzati
- Aziende addette a: produzione della neve,
sicurezza piste e impianti, costruzione
attrezzature per il soccorso, operanti nel
campo della protezione e prevenzione delle
valanghe.



Periodico associato all'USPI
Unione Stampa Periodica Italiana

Neve e Valanghe

n 93 anno 2019

Rivista dell'AINEVA
ISSN 1120 - 0642
Aut. Trib. di Rovereto (TN)
N° 195/94NC
del 28/09/1994

Direttore Responsabile

Alfredo PRAOLINI
ARPA Lombardia
Coordinamento Redazionale:
ARPA Lombardia

Comitato di redazione:

Erika SOLERO, Giovanna BURELLI,
Alfredo PRAOLINI, Walter BEOZZO,
Fabio Gheser, Mauro VALT, Mauro AZZINI,
Stefano SOFIA, Elena BARBERA

Comitato scientifico editoriale:

Alberto TRENTI, Secondo BARBERO,
Daniele MORO, Paolo SANDRONI,
Anselmo CAGNATI, Michela MUNARI,
Giovanni PERETTI, Valerio SEGOR

Segreteria di Redazione:

Vicolo dell'Adige, 27
38122 TRENTO
Tel. 0461/230305
Fax 0461/232225

Videoimpaginazione e grafica:

MOTTARELLA STUDIO GRAFICO
www.mottarella.com
Cosio Valtellino (SO)

Referenze fotografiche:

Foto di copertina: ARPA Veneto

Se non diversamente specificato in didascalia, le foto contenute negli articoli sono degli autori.

Hanno collaborato a questo numero:

Serena Mottarella, Stefania Del Barba,
Nadia Preghenella, Monica Rossi,
Igor Chiambretti, Enrico Filafarro.

Gli articoli e le note firmate esprimono l'opinione dell'Autore e non impegnano l'AINEVA.

93

INDICE

- ▾ Neve
- ▾ Valanghe
- ▾ Cartografia
- ▾ Opere di difesa
e distacco artificiale
- ▾ Incidenti da valanga,
prevenzione e sicurezza
in montagna
- ▾ Meteorologia alpina
- ▾ Climatologia
- ▾ Glaciologia
- ▾ Aspetti giuridici
- ▾ Altro



Ad inverno ben avviato, prodigo di neve e di criticità valanghive, si chiude il numero 93 di "Neve e Valanghe" nella nuova veste di compendio editoriale completo che racchiude l'intero anno solare 2019. Gli articoli pubblicati in corso d'anno hanno via via alimentato la rivista all'interno delle varie sezioni che ne caratterizzano la nuova strutturazione.

Nel 2019 AINEVA ha dovuto salutare, per raggiunti limiti di età, due storici e stimati protagonisti della nostra vita associativa, membri del Comitato Tecnico Direttivo, che hanno tracciato il percorso di questa Organizzazione per oltre tre decenni. Parliamo di:

Anselmo Cagnati - Responsabile del Centro Valanghe di Arabba, da sempre considerato tra i massimi esperti in materia di neve e valanghe e autorevole riferimento scientifico apprezzato in Italia e all'Estero;

Giovanni Peretti - Responsabile del Centro Nivometeorologico di Bormio, storico direttore di questo periodico, che con le sue idee innovative ha lavorato per promuovere lo sviluppo dell'Associazione in termini di visibilità e crescita strutturale.

A loro va il nostro sentito ringraziamento per l'insostituibile competenza generosamente profusa nell'indirizzare e sostenere l'attività di AINEVA.

Ed ecco le novità: un gruppo di lavoro di tecnici AINEVA si è concentrato nella ristrutturazione dei corsi in funzione delle criticità emerse nei molti anni di attività formativa, con un occhio di riguardo alle esigenze manifestate dall'utenza. La suddivisione dei moduli formativi in sottomoduli permette, già da quest'inverno, di ampliare l'offerta per le sessioni teoriche, che saranno promosse anche nelle sedi metropolitane. Chi è interessato ad acquisire i titoli professionali specifici, potrà completare il percorso accedendo alle lezioni pratiche che avranno luogo nelle località montane. L'introduzione del Livello 1, che sarà gestito dalle Guide Alpine appositamente formate da AINEVA in collaborazione con un'equipe francese di ANENA, ci permetterà di promuovere azioni di prevenzione nei confronti dell'utenza che già pratica attività scialpinistica e che intende approfondire la conoscenza dei comportamenti corretti sul terreno innevato e maturare capacità operativa anche nella pratica dell'autosoccorso.

In questo contesto, nuovo materiale didattico e informativo integrerà la collana di pubblicazioni offerta al pubblico. Ci preme segnalare, al proposito, che da alcuni mesi è disponibile il nuovo opuscolo/guida dal titolo "Il bollettino valanghe e la scala di pericolo". Parimenti merita menzione il bel documentario realizzato dal Centro Produzioni Televisive della Regione Friuli Venezia Giulia in collaborazione con AINEVA. Il filmato è disponibile nella sezione notizie del nostro sito www.aineva.it.

E' importante infine dare evidenza al fatto che, dopo alcuni anni di studio attraverso vari tavoli di lavoro, (cui AINEVA ha preso parte in rappresentanza degli Uffici Valanghe associati) è stata approvata la "Direttiva del Presidente del Consiglio dei Ministri" 12 agosto 2019, che detta gli indirizzi operativi per la gestione organizzativa e funzionale del sistema di allertamento nazionale e regionale e per la pianificazione di protezione civile territoriale nell'ambito del rischio valanghe. All'interno delle varie strutture regionali o provinciali saranno da affinare alcuni interventi di pianificazione, mentre dall'Appennino si chiede di attingere alle esperienze ultratrentennali maturate all'interno del nostro sodalizio.

Alfredo Praolini
Direttore Responsabile



NEVE

- ▾ 2 **Scenari di trasporto eolico**
Uno strumento per gestire il rischio valanghe basato sull'esposizione dei versanti negli scenari di trasporto eolico
- ▾ 14 **Standardized Snow Pack Index (SSPI) nelle Alpi Orientali**
Un indicatore per lo Snow Water Equivalent (SWE)
- ▾ 24 **Equivalente in acqua della neve**
Stima dell'equivalente in acqua della neve in Trentino

SCENARI di TRASPORTO EOLICO

Eloïse Bovet

Fondazione Montagna sicura,
Courmayeur (AO), Italia

Luca Pitet

Assetto Idrogeologico dei Bacini Montani,
Regione Autonoma Valle d'Aosta, Italia

Igor Torlai

Ufficio Meteo del Centro Funzionale,
Regione Autonoma Valle d'Aosta, Italia

uno strumento per gestire
il rischio valanghe basato
sulla direzione del vento e
sull'esposizione dei versanti

Avalanche risk management assumes an in-depth knowledge of the nivometeorological situation to which tools for the definition of avalanche potential release can be associated.

The application of the PRA (Potential Release Area) tool, developed by the SLF, on 600 real cases in Aosta Valley showed the important role played by the wind direction in determining scenarios of avalanche detachment. On those basis a rapid method has been developed, using the 10m wind intensity and direction data provided by the Cosmoi2 predictive model. The wind direction input was calculated by vectorially averaging the wind directions over the 24h, weighted with the cube of the intensity. According to the slope exposure, a slope is loaded [if downwind] or eroded [if downwind]. In order to validate this procedure, the data elaborated with our procedure were compared with the data of 52 automatic stations and the observations contained in the Models 1 A.I.NE.VA.. Scenarios of possible snow eroded/loaded areas are realized according to the wind direction at both valley and single-basin scales. Daily, after 40 minutes calculation time, three graphs are forecast: 1) statistical summary of the basins eroded/loaded by the wind on the 26 microareas in which the Aosta Valley is divided, 2) wind direction on the 800 cells of the Cosmoi2, 3) probability of erosion/deposit on each individual avalanche basin. Those graphs are displayed in the Avalanche Local Committees (CLV) web platform and validated by the avalanche forecasters and the components of the CLV. In this paper several validations based on real cases are shown. The procedure, while giving satisfactory results, has limits due to the simplicity of the model used, to scale issues and to the snowdrift amount neglected in the modelisation.

L'applicazione dello strumento PRA (Potential Release Area), sviluppato dall'SLF, su 600 casi reali valdostani ha mostrato l'importante ruolo svolto dalla direzione del vento nel determinare gli scenari del distacco valanghe. Su queste basi è stato sviluppato un metodo speditivo, utilizzando i dati di intensità e direzione del vento a 10 m forniti dal modello predittivo Cosmoi2. Quest'ultima è stata calcolata mediando le direzioni del vento sulle 24 ore, ponderate con il cubo dell'intensità. Si è presupposto che a seconda della sua esposizione, un pendio venga caricato (se sottovento) oppure eroso (se sopravvento). Per validare questa procedura, i dati così elaborati sono stati confrontati con i dati di 52 stazioni automatiche e le osservazioni contenute nei Modelli 1 A.I.NE.VA. Gli scenari di eventuali aree erose/caricate sono realizzati in base alla direzione del vento sia a scala di valle che di singolo bacino valanghivo. Ogni giorno, dopo circa 40 minuti di calcolo, vengono realizzati tre grafici: 1) riepilogo statistico dei bacini erosi/caricati dal vento sulle 26 microaree in cui è divisa la Valle d'Aosta, 2) direzione del vento sulle oltre 800 celle del Cosmoi2, 3) probabilità di erosione/deposito su ogni singolo bacino valanghivo. Questi grafici vengono visualizzati nella piattaforma Web delle Commissioni Locali Valanghe (CLV) e validati dai tecnici dell'Ufficio valanghe e dai componenti delle CLV. In questo articolo sono presentate alcune delle validazioni basate su situazioni reali. La procedura, pur fornendo risultati soddisfacenti, presenta dei limiti dovuti alla semplicità del modello utilizzato, alla scala e alla quantità di neve ventata trascurata nella modellizzazione.



INTRODUZIONE

Attualmente la gestione del pericolo locale valanghe in Valle d'Aosta è demandata alle Commissioni Locali Valanghe (CLV) che attuano il monitoraggio dei siti sensibili e supportano i sindaci nelle fasi decisionali a cui i medesimi sono preposti (chiusura/apertura delle strade, evacuazione di centri abitati...). Le CLV sono infatti organi consultivi a supporto della Regione, dei Comuni e dei gestori delle piste da sci per le attività di valutazione delle condizioni nivometeorologiche e dello stato di stabilità delle masse nevose. I componenti delle CLV attuano attività di vigilanza, di allerta e di intervento sui propri territori di competenza al fine di assicurare, a livello locale, il controllo delle situazioni a rischio valanghivo.

Le CLV che operano sul territorio regionale sono 17 e sono supportate tecnicamente dai tecnici dell'Ufficio neve e valanghe della Regione (UNV), i quali mettono a loro disposizione tutto il materiale ed i dati in loro possesso, al fine di facilitarne il compito.

Grazie alla realizzazione di alcuni progetti finanziati dalla Comunità Europea,

quali ad esempio CAPVAL, ART_UP_WEB, RED e PITEM-RISK, l'Ufficio neve e valanghe, in collaborazione con i tecnici della Regione, del Centro Funzionale ed i componenti delle CLV, ha avviato delle attività per individuare, tramite un'analisi critica, quali siano i parametri nivometeorologici da monitorare e attraverso quali strumenti e metodologie sia più efficace quantificarli. Lo scopo consiste nel creare degli scenari delle aree di distacco, al variare dei parametri nivometeorologici.

SCENARIO DELLE AREE POTENZIALI DI DISTACCO

Nell'ambito del progetto CAPVAL, si è proceduto all'applicazione del tool *Avalanche PRA* (Potential Release Area), sviluppato dall'SLF di Davos (Veitinger et al., 2014), per individuare le potenziali aree di distacco di oltre 600 casi storici valdostani. I dati di input richiesti dal PRA sono i seguenti:

- **Hs**: definisce l'altezza di neve presente nell'area di distacco;
- **DTM** (Modello digitale del terreno a risoluzione di 2 metri): simula la rugosità del pendio;

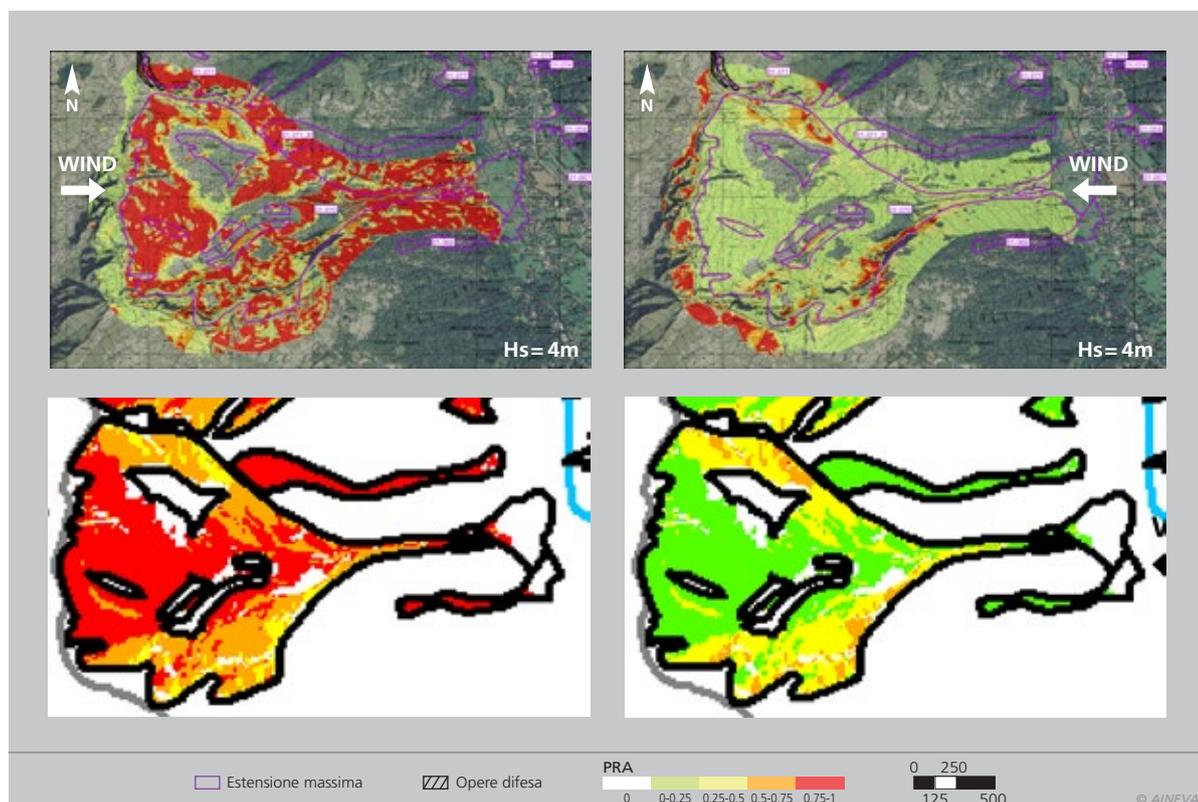
- **WIND**: definisce la direzione, e la relativa tolleranza, di provenienza del vento.

Al fine di validare gli scenari elaborati, è stata realizzata una scrupolosa analisi critica dei risultati ottenuti, confrontandoli con la documentazione dei casi reali (fotografie, shapefile, ...), come da Catasto Regionale Valanghe (CRV).

Il confronto tra dati reali ed elaborazioni PRA ha permesso di evidenziare che la procedura rappresenta in maniera adeguata le probabili aree di distacco delle aree soggette a valanghe. Tuttavia, la sua applicazione sull'intero territorio regionale (circa 3000 km²) avrebbe richiesto tempi di elaborazione troppo lunghi.

Siccome lo scopo è quello di ottenere scenari in previsione per l'intero territorio regionale nel minor tempo possibile, si è deciso di semplificare la procedura PRA, considerando solamente il parametro della direzione del vento ed omettendo Hs. Infatti, le risultanze delle analisi svolte hanno evidenziato che la variazione della direzione del vento fa variare in maniera rilevante gli scenari in previsione (Fig.1), mentre il variare dell'altezza del manto nevoso influisce in maniera marginale sui medesimi scenari.

Fig. 1 - La direzione del vento influenza notevolmente lo scenario. In alto la procedura PRA, in basso il metodo semplificato. A sinistra il vento proviene da ovest, a destra da est.



METODO

Partendo dalle risultanze di cui al paragrafo precedente, si è quindi compreso quanto sia importante riuscire a definire, per ogni sito valanghivo, la direzione del vento. Sebbene in un primo momento si fosse optato per utilizzare i dati provenienti dalle stazioni automatiche presenti sul territorio valdostano, successivamente, al fine di ottenere dati del vento in previsione e, soprattutto, oggettivi, si è deciso di utilizzare il modello previsionale Cosmoi2. Così facendo sono disponibili dati di direzione ed intensità del vento in previsione e non è necessario individuare in maniera soggettiva la stazione automatica più rappresentativa del contesto territoriale, in quanto il modello Cosmoi2 copre l'intero territorio regionale. All'interno del modello Cosmoi2, la Valle d'Aosta è divisa in circa 800 celle di 2.7 km di lato. Per ogni cella sono disponibili, in previsione con un passo temporale di 3 ore, i valori di direzione e di intensità del vento a 10 m dal suolo (u_{10}). Per tenere conto del cambiamento di direzione e intensità del vento durante una giornata, le direzioni del vento sono mediate vettorialmente sulle 24 ore, ponderate con il cubo dell'intensità. Questa scelta è basata sull'equazione di Föhn (1980), nella quale il trasporto eolico risulta infatti dipendere dal cubo dell'intensità:

$$Q = k \cdot u_{10}^3, \text{ dove } k = 8 \cdot 10^{-5} \text{ s}^3 \text{ d}^{-1} \text{ m}^{-2} \quad (1)$$

In un primo tempo, era stata utilizzata la formula di Duynin et al. (1980):

$$Q = c \cdot (u_{10} - 5)^3, \text{ dove } c = 7.7 \cdot 10^{-5} \text{ s}^3 \text{ d}^{-1} \text{ m}^{-2} \quad (2)$$

Tuttavia, applicando l'Eq. 2, in molte situazioni non risultava esserci trasporto eolico (siccome Q si annullava) sebbene i relativi modelli 7 A.I.NE.VA. indicassero eventi valanghivi causati da trasporto eolico. Pertanto, è stato deciso di non considerare la velocità di soglia di 5 m/s che appare nell'Eq.2 e di utilizzare l'Eq.1.

Conoscendo la direzione del vento previsto su tutto il territorio regionale secondo il Cosmoi2, si è assunto che, in relazione ad una direzione del vento predefinita, i pendii siano "caricati" o "erosi" dalla neve in funzione dell'esposizione del versante. I pendii sottovento sono caricati (e quindi soggetti a deposito di neve), quelli sopravvento scaricati (e quindi soggetti ad erosione). A seconda della direzione del vento e dell'esposizione del versante i colori assumono il significato in Fig. 2.

La procedura, scritta nel diffuso software open source R, individua automaticamente la direzione del vento per ogni cella della Valle d'Aosta mediante una media vettoriale sulle 24 ore, definendo quindi quali pendii sono soggetti a deposito e quali ad erosione. I dati sono anche analizzati statisticamente e sono rappresentati per singole microaree, settori in cui è stato suddiviso il territorio valdostano per l'emissione del Bollettino valanghe.

Occorre sottolineare che all'interno della procedura non sono definiti i quantitativi di neve che vengono erosi o depositati a seguito dell'azione del vento e neanche le caratteristiche della neve al suolo, ov-



Fig. 2 - Esempio di esposizioni soggette ad erosione o deposito della neve con un vento proveniente da Nord-Ovest. La legenda mostra la colorazione dei settori soggetti ad erosione o deposito.

		DATI OSSERVATI (MOD1 o AWS)	
		SÌ	NO
PREVISIONE (Cosmoi2)	SÌ	Previsione corretta di un evento (A)	Falso allarme (B)
	NO	Previsione mancata (C)	Previsione corretta di un non evento (D)

© AINEVA

Fig. 3 - Dalla tabella di contingenza derivano la "Probability of Detection"= $POD=A/(A+C)$ e il "Success Ratio"= $SR=A/(A+B)$.

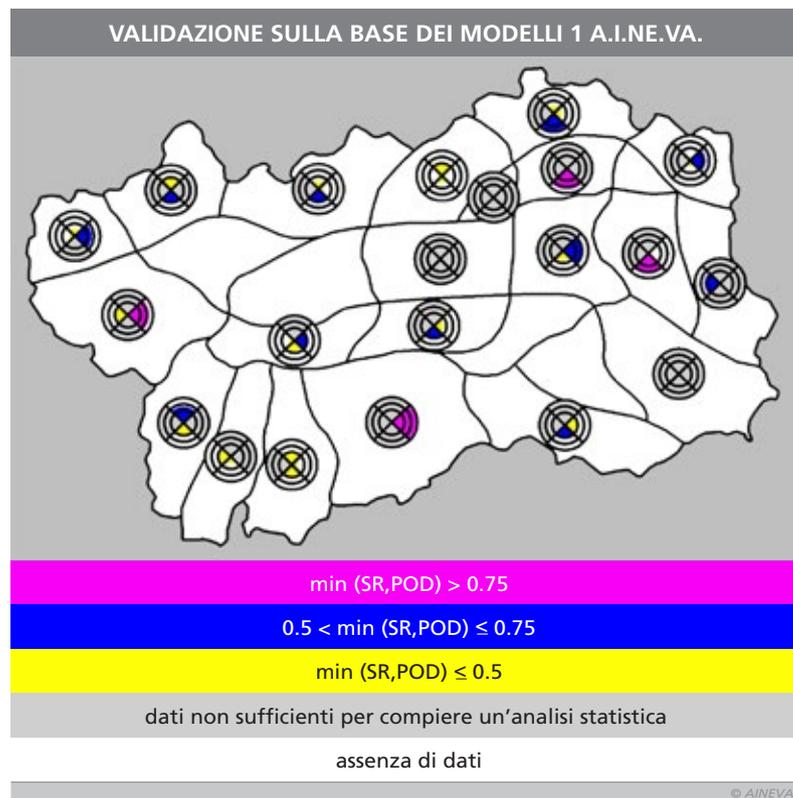


Fig. 4 - Per la validazione basata sui Modelli 1 A.I.NE.VA., la Valle d'Aosta è suddivisa nelle stesse 26 microaree utilizzate nel Bollettino neve e valanghe.

Fig. 5 - I dati del periodo 2011-2016 simulati a partire dai dati di Cosmoi2 (a sinistra) e registrati dalla AWS denominata Becca-France (a destra).

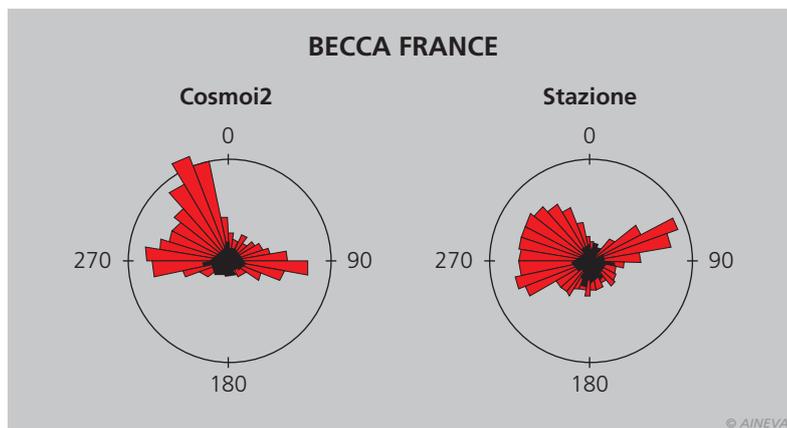
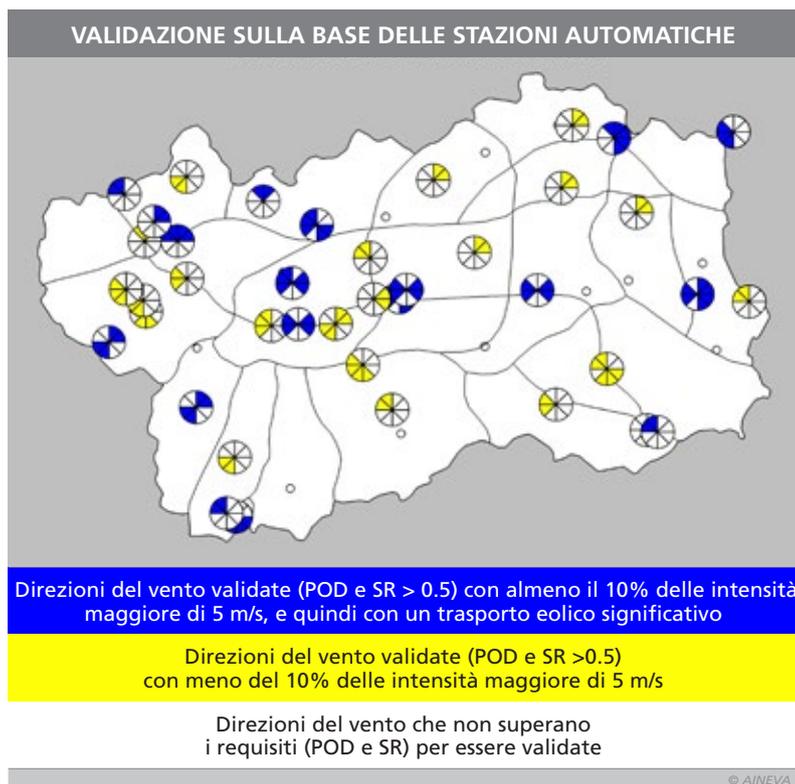


Fig. 6 - Settori validati grazie al confronto con i dati delle stazioni AWS.



vero la presenza o meno di neve a debole coesione suscettibile al trasporto eolico.

VALIDAZIONE

Al fine di procedere con la validazione della procedura, i risultati sono stati confrontati sia con i dati del vento registrati dalle stazioni automatiche (AWS) sia con quelli trasmessi all'UNV con i Modelli 1 A.I.NE.VA. (MOD1). Vengono considerati validi i dati in cui due indici statistici, quali POD e SR, basati sulla tabella di contingenza (Fig.3), sono superiori a 0.5.

Per esempio, la direzione Nord è da ritenersi validata se oltre il 50% dei casi nei quali è stato osservato (da AWS e MOD1) vento da Nord, anche il modello Cosmoi2

ha correttamente previsto il vento da Nord (ovvero $POD > 0.5$) e, analogamente, se oltre il 50% dei dati in cui Cosmoi2 ha previsto vento da Nord, questo si è effettivamente verificato secondo AWS e MOD1 (ovvero $SR > 0.5$).

Modelli 1 A.I.NE.VA.

Per quanto riguarda il confronto con i Modelli 1 A.I.NE.VA., sono state comparate le informazioni sulla presenza o meno di trasporto eolico e sull'eventuale localizzazione di accumuli o cornici (desumibili nella sezione VQ - vento in quota dei Modelli 1 giornalieri) con i dati provenienti dall'elaborazione dei dati Cosmoi2. La Fig.4 mostra che in 15 esposizioni (in blu e magenta) distribuite sulle

26 microaree c'è una buona concordanza tra dato osservato e dato simulato.

Stazioni automatiche (AWS)

I dati delle 52 stazioni automatiche sparse sul territorio valdostano sono stati confrontati con i dati simulati da Cosmoi2 nelle celle dove sono ubicate le AWS, sia in forma originale sia elaborati mediante una media vettoriale sulle 24 ore (Fig. 5). Generalmente la differenza tra le intensità del vento misurate dalle AWS e simulate da Cosmoi2 è poco significativa (meno di 4 m/s), senza un trend definito. Infatti, a seconda delle stazioni, il valore di intensità del vento è sovrastimato a volte dalle AWS, altre da Cosmoi2.

La Fig. 6 mostra le direzioni del vento in cui vi è una concordanza del dato simulato e registrato dalle AWS, in quanto sia SR che POD sono maggiori di 0.5 (in blu e in giallo).

Unendo i risultati delle due validazioni sopra descritte, si ottiene una maschera di colore grigio che nasconde le esposizioni che non superano la validazione e che pertanto fornirebbero informazioni che non rispecchiano necessariamente la realtà (Fig.11).

VISUALIZZAZIONE

Al fine di supportare l'Ufficio Neve e valanghe e i componenti delle CLV nelle loro decisioni di gestione del rischio valanghivo, i risultati scaturiti dalla procedura di cui sopra sono stati tradotti in scenari di trasporto eolico, di facile interpretazione ed utilizzo immediato. Lo strumento scelto per la visualizzazione dei risultati è stato individuato nella piattaforma web delle CLV dove sono visualizzabili due tipi di scenari: gli scenari statici e gli scenari dinamici.

Scenari statici

Gli scenari statici sono otto illustrazioni cartografiche definite e statiche (Fig.7). Esse rappresentano graficamente gli scenari di trasporto eolico nei bacini valanghivi definiti all'interno dei PAV (Piani di Attività Valanghiva), una per

ogni direzione principale del vento scelta (N, NE, E, SE, S, SO, O, NO), colorata a seconda dell'esposizione rispetto alla direzione del vento analizzata. Tali scenari possono essere utili per l'operatore che sceglie come dato di ingresso la direzione del vento in un determinato punto e ottiene una semplice visualizzazione di come il vento interagisce con le differenti esposizioni dei versanti nell'intorno del punto investigato.

Scenari dinamici

Per quanto riguarda gli scenari dinamici, vengono proposte tre rappresentazioni cartografiche calcolate ogni giorno (in particolare al mattino), per l'intero territorio regionale. Tali scenari rappresentano la situazione di trasporto eolico del giorno seguente alle h.6.00 e vengono elaborati dai dati previsti della direzione del vento, mediati sulle 24 h precedenti. I tempi di elaborazione delle tre rappresentazioni, per l'intero territorio regionale, sono di circa 40 minuti.

La prima mappa (Fig.8) fornisce la direzione del vento elaborata a partire dai dati di Cosmoi2 per ogni singola cella. Le frecce sono visualizzate con un colore differente a seconda dell'affidabilità del dato facendo riferimento ai dati delle stazioni automatiche ed ai dati delle celle adiacenti (Fig.9).

La seconda mappa (Fig.10) fornisce scenari di trasporto eolico nei soli bacini PAV, combinando le differenti direzioni del vento di ogni singola cella (Fig. 8) con l'esposizione del pendio. A differenza degli scenari statici, questi scenari variano, di giorno in giorno, a seconda delle direzioni del vento previste da Cosmoi2. A questo proposito, è importante sottolineare che, anche se visibile alla scala di singolo bacino, l'informazione deve essere considerata alla scala Cosmoi2 (griglia con lato di 2.7 km).

La terza mappa (Fig. 11) fornisce una distribuzione statistica del trasporto eolico per singole microaree, a seconda dell'esposizione dei pendii.

All'interno del grafico a torta, lungo il raggio, sono rappresentate, per ogni

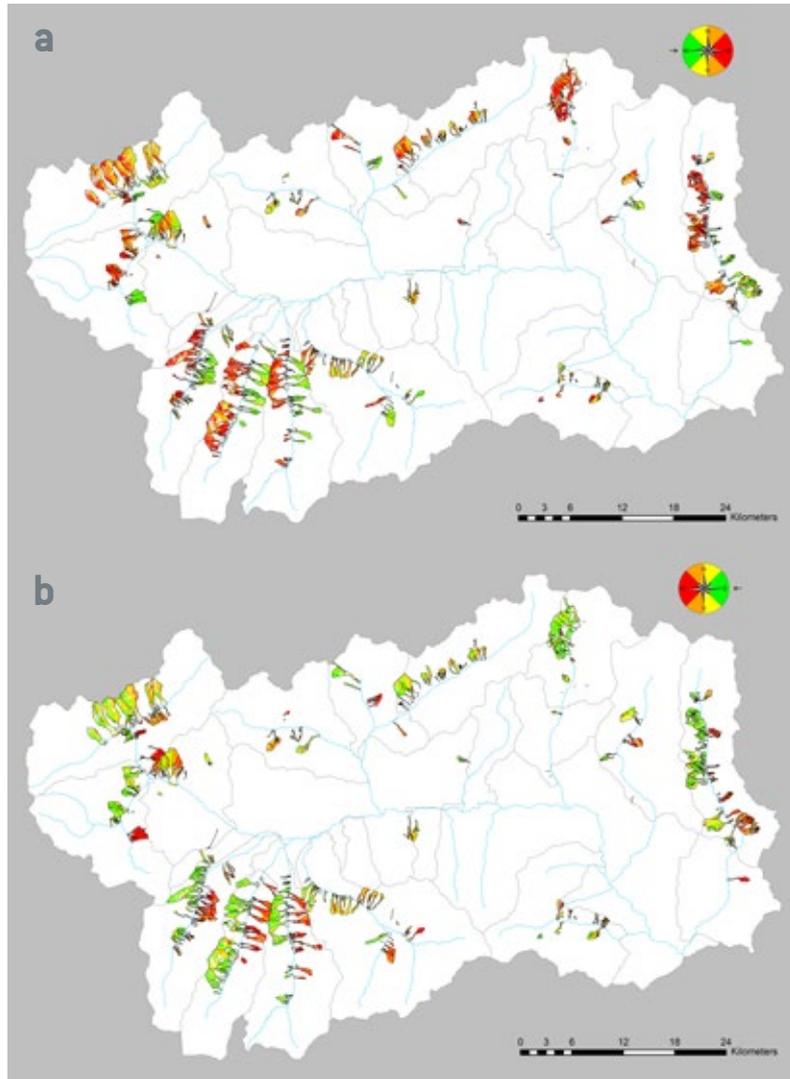


Fig. 7 - Scenari statici per vento proveniente da ovest (sopra) e da est (sotto). Si notino le colorazioni tendenzialmente opposte dei due scenari.



Fig. 8 - Direzione del vento mediata sulle 24h.

NEVE

microarea, le percentuali di distribuzione di deposito (rosso e arancione) per ciascuna esposizione (Fig.12). In particolare, i cerchi concentrici rappresentano il

raggiungimento del 50%, 75% e 100% della superficie delle microaree.

Validazione scenari dinamici

A partire dalla stagione invernale 2017-2018, sulla piattaforma CLV è stata implementata una sezione che consente ai previsori dell'UNV ed ai componenti del CLV la validazione delle risultanze della procedura (Fig.13).

In particolare, nel corso di due stagioni, i tecnici hanno validato, in 245 giorni, 636 scenari (Fig. 14), fornendo 261 commenti, relativi alla validazione. Attraverso un'analisi delle validazioni effettuate, il 76% dei casi si è dimostrato corretto, il 23% non corretto ed 1% non validato. Purtroppo, non si dispongono di dati per tutte le microaree oggetto di validazione.

Si sottolinea che, nella seconda stagione di utilizzo, il numero di validazioni è stato maggiore rispetto alla prima, sebbene si sia appurato che, nella stagione invernale 2018-19, la causa principale del distacco delle valanghe non sia da imputare alla presenza del vento, pur essendo la stagione caratterizzata da numerose giornate ventose. I distacchi dovuti al trasporto eolico, infatti, sono stati pochi in quanto il vento era talmente forte da erodere il manto nevoso senza depositare nulla. Inoltre, anche la tipologia di neve (cristalli di tipo 4) non ha favorito la creazione di lastroni da vento.

Negli ultimi tempi, si è cercato di dare sempre maggiore spazio alla validazione della procedura, in quanto questa fase permette di avere un ritorno costruttivo per implementare e rendere sempre più verosimili gli scenari di trasporto eolico. Tale validazione da parte dei previsori dell'UNV e dei commissari delle CLV ha permesso di evidenziare quanto segue:

- gli scenari dinamici rappresentano verosimilmente le condizioni presenti sul terreno a seguito di fenomeni di trasporto eolico. In particolare, le osservazioni effettuate nelle microaree 6, 8, 20 e 24 hanno permesso di appurare come, in questi settori, gli scenari scaturiti dalla procedura siano attendibili;
- l'apertura di alcune esposizioni (oscurate dal grigio nella stagione 2017-2018) nella microarea 6 ha consentito di ottenere scenari più veritieri delle condizioni realmente riscontrate nella stagione precedente;
- la scarsità di riscontri da parte dei tecnici in alcune microaree non consente valutazioni in merito al funzionamento della procedura;

Fig. 9 - Casi in cui la freccia centrale è validata (a sinistra) o non validata (a destra) considerando le celle adiacenti contenute nel riquadro.

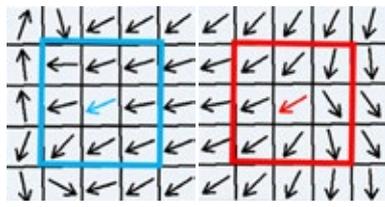


Fig. 10 - Aree soggette a deposito/erosione di neve dovuto al trasporto eolico in base alla direzione del vento rappresentata in Fig. 8.

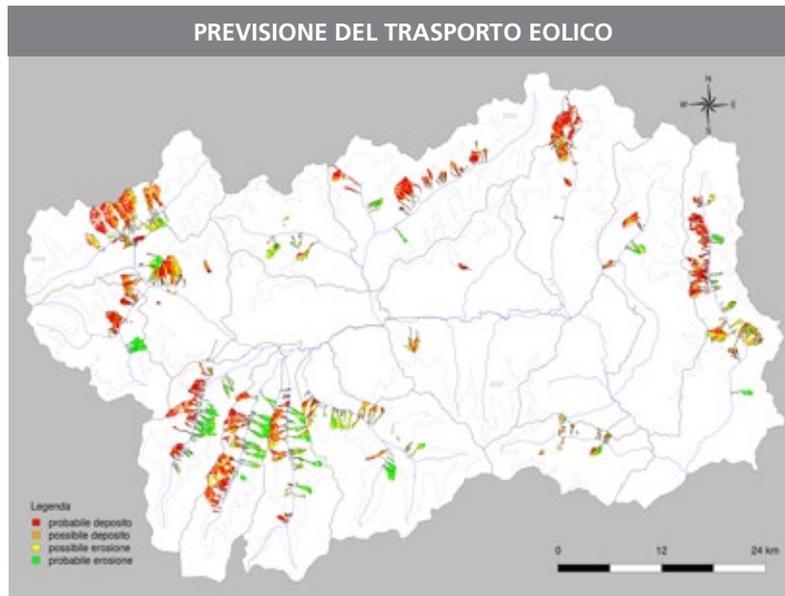
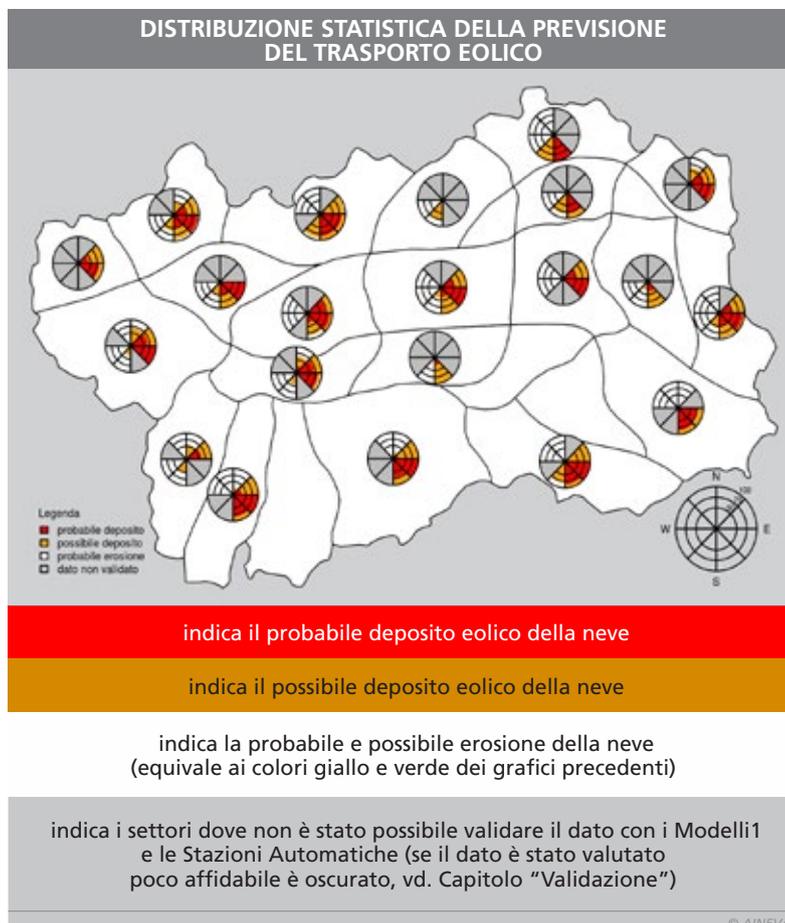


Fig. 11 - Rappresentazione cartografica con grafici a torta per ogni microarea.



- vi sono alcune microaree, tra cui la microarea 16, in cui i casi non corretti prevalgono sui casi corretti.

CASI REALI

Di seguito vengono illustrati alcuni casi reali relativi al dicembre 2017 e a febbraio 2019 in cui si è riscontrata la validità della procedura.

Il primo caso riguarda la Val Ferret in data 12.12.2017. Le informazioni presenti nella sezione scenari dinamici indicavano che la catena del Monte Bianco era stata molto caricata dal vento nei giorni precedenti. Nel pomeriggio del 12 dicembre, verso le 16.45 è avvenuto il distacco della valanga del Meyen (denominata 18-006 del CRV). La Fig.15.a mostra che l'esposizione del bacino valanghivo (calcolata a partire da DTM) è prevalentemente SW. La procedura, a partire dai dati Cosmoi2, indica che i quadranti SW e SE sono probabilmente caricati per effetto del vento (Fig. 15.b) e pertanto i bacini valanghivi sulla catena del Monte Bianco con tale esposizione risultano essere effettivamente caricati. Infatti, come si può vedere in Fig. 15.c, tali bacini risultano essere prevalentemente colorati di rosso (colore al quale corrisponde un probabile deposito dovuto al trasporto eolico).

Il giorno 11.12.2017, nella microzona di La Thuile verso le 21.30 è avvenuto il distacco della valanga Tza Quemoun (17-042 del CRV), relativa al bacino dell'Elevez (Fig.16.a), a cui corrispondeva, per quel giorno, lo scenario di deposito eolico indicato in Figg. 16.b-d. Il Cosmoi2 aveva previsto correttamente la rotazione dei venti da Ovest. Infatti, nello scenario del giorno precedente (10.12.2017), i venti erano tali da non far supporre un distacco valanghivo (Fig. 16.c), in quanto l'esposizione del versante da cui si è verificato il distacco era in prevalente erosione.

Il giorno 13.12.2017 risultava un vento forte da Ovest con molto trasporto. Verso le ore 15 circa è avvenuto il distacco della valanga 19-009 nel comune di Courmayeur, dove lo scenario della pro-

cedura indicava una prevalente deposizione per i versanti esposti a Est (Fig. 17). Il 14.12.2017, dopo un vento forte durato tutta la notte, in concomitanza dell'attenuazione mattutina, è scesa la valanga di Blantze (Resoule 14-010).

L'esposizione prevalentemente verso Est del bacino valanghivo ha permesso di validare tale scenario per la Valle di Rhêmes (Fig. 18).

Il 3 febbraio 2019 si è verificato un distacco provocato per la valanga Aouillette (in CRV censita come 11_046i), nel comune di Saint-Nicolas. Benché la valanga non sia naturale, ma provocata, lo scenario previsto di accumulo era coerente con il distacco verificatosi, in quanto l'azione del vento ha formato un

lastrone sul pendio esposto a sud-est che ha ceduto al passaggio di un gruppo di scialpinisti (Fig.19).

A questo proposito, tuttavia, occorre sottolineare che la procedura è a supporto di una previsione ad una scala di microarea regionale e/o di bacino, per-

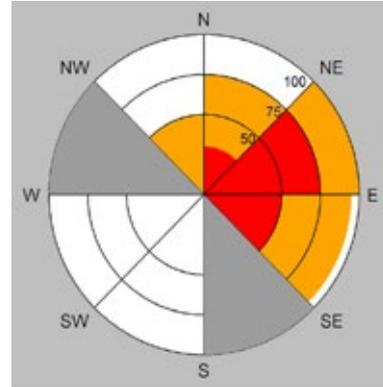


Fig. 12 - In questo caso, per esempio, il 75% dei versanti della microarea con esposizione tra NE ed E è rosso (probabile deposito) e il 25% è arancione (possibile deposito). I pendii con esposizione tra S e W vengono erosi.

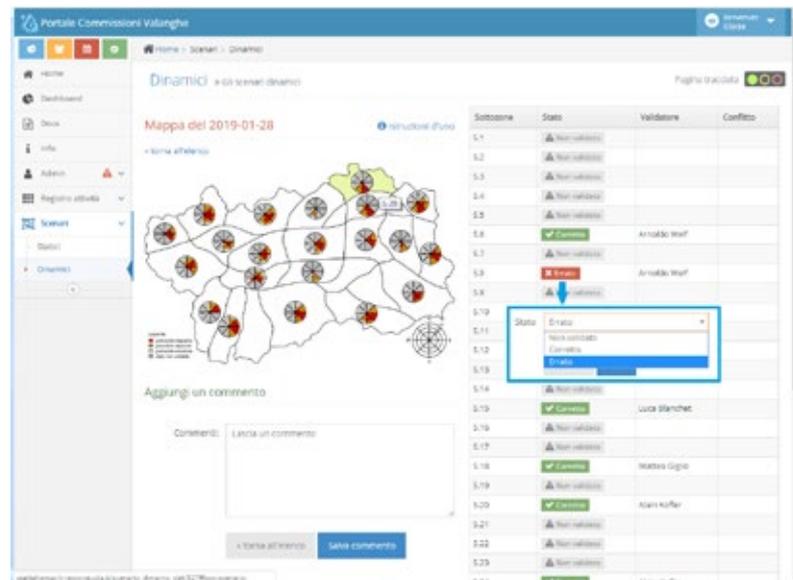


Fig. 13 - Validazione della mappa sulla piattaforma web.

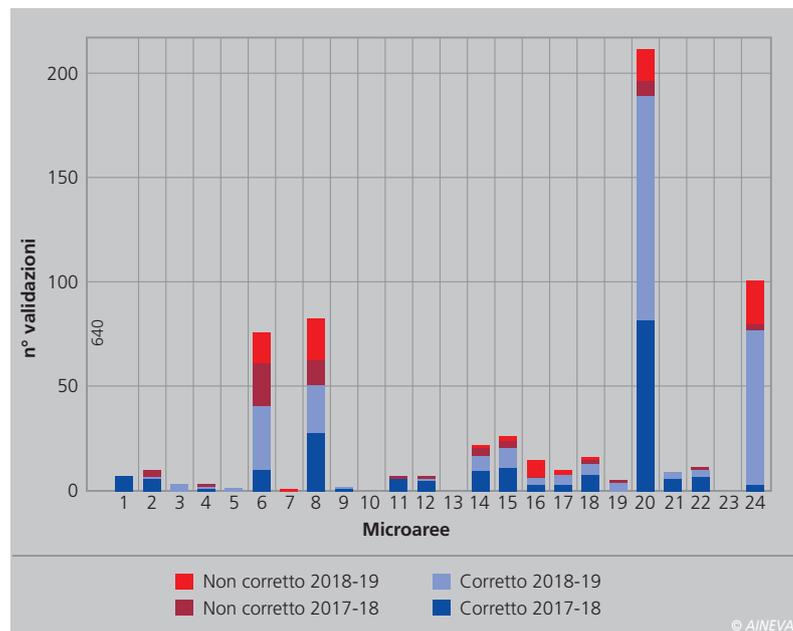


Fig. 14 - Risultati della validazione effettuata negli inverni 2017-2018 e 2018-2019 da parte di UNV o di CLV: progressivo della microarea in ascissa, numero di validazioni in ordinata.

Fig. 15 - Esposizione della valanga 18-006 (massima estensione come da CRV): distaccatasi il 12.12.2017 e relativi scenari del vento.

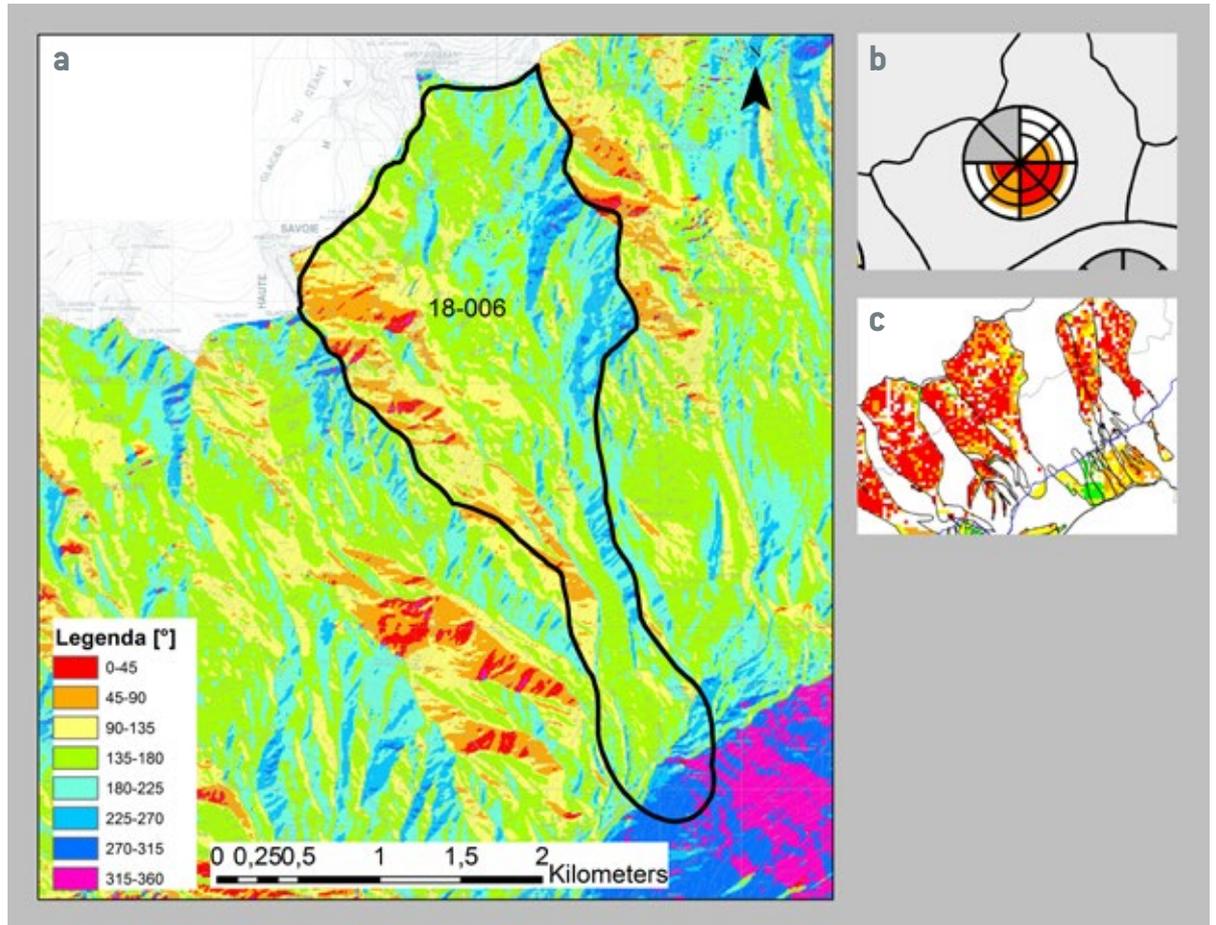
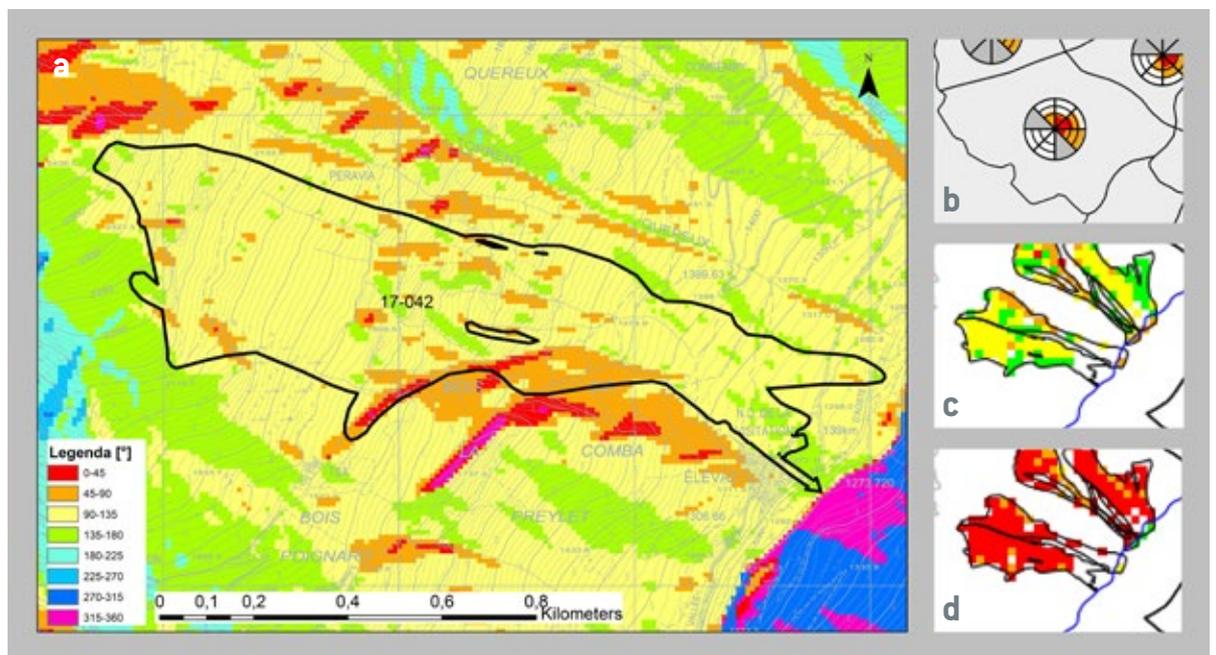


Fig. 16 - Esposizione della valanga 17-042 (massima estensione come da CRV), distaccatasi il 11.12.2017 e scenari del vento relativi (c) al giorno prima dell'evento (in cui si vede la prevalente erosione) e (d) al giorno dell'evento (in cui prevale il deposito).



tanto, tale strumento non può essere utilizzato dagli scialpinisti per esempio per scegliere la traccia da seguire durante un'escursione, perché dei micro accumuli (per esempio legati a microrilievi) possono essere sempre presenti sul versante. Si ribadisce, quindi, che questi scenari non possono essere utilizzati alla microscaletta.

CONCLUSIONI E PROSPETTIVE FUTURE

In conclusione, la procedura fornisce in un breve tempo di calcolo informazioni riguardanti i pendii che saranno presumibilmente caricati ed erosi dal vento,

ad una scala di 2.7 km per l'intero territorio regionale. Tali scenari sono forniti in previsione, ed è quindi possibile sia ottenere un bollettino neve e valanghe più accurato sia focalizzare l'attenzione sui singoli bacini valanghivi con problematiche legate al trasporto eolico. Tuttavia, questa metodologia è speri-

mentale e presenta le seguenti limitazioni:

- i dati di velocità del vento (direzione e intensità) sono simulati ed in previsione, quindi presentano i limiti del modello Cosmoi2 (celle di 2.7 km di larghezza, simulazioni svolte con una topografia approssimata, dati solamente ogni 3 ore ...);
- i fenomeni di erosione e deposito sono modellati senza tener conto della qualità e quantità della neve, della presenza o dell'assenza di nevicata in corso, dell'ordine in cui si sono verificati i venti, della vicinanza o meno di creste e valli;
- le mappe del trasporto eolico sono prodotte anche quando l'intensità del vento non è in grado di generare il trasporto;
- la procedura non valuta la stabilità del manto nevoso, perché i parametri che la regolano sono molteplici (non dipendono solo dal vento) e concorrenti tra loro (vento + neve fresca, altezza di neve al suolo + temperatura, ...).

Per migliorare la procedura e cercare di rendere sempre più verosimili gli scenari di trasporto eolico, comprendendo anche altri parametri fondamentali che concorrono alla stabilità del manto nevoso, sono state intraprese alcune attività nell'ambito di alcuni progetti europei della Programmazione 2014-2020.

Per esempio, all'interno dell'Unità di Ricerca RED (Risk valuation Dashboard) si è implementato un algoritmo di "Nearest Neighbour", per individuare se nei giorni con le condizioni nivo-meteorologiche più simili a quelle previste per un determinato giorno si era verificato un evento valanghivo. Nel futuro si cercherà di fare rientrare anche il trasporto eolico in questa analisi.

Nel Progetto strategico PITEM-RISK (ITA-FR 2014-2020 - Alcotra), si stanno svolgendo analisi ed approfondimenti finalizzati ad una migliore conoscenza di alcuni parametri non ancora indagati in maniera approfondita dall'UNV valdostano, quali l'altezza di neve al suolo

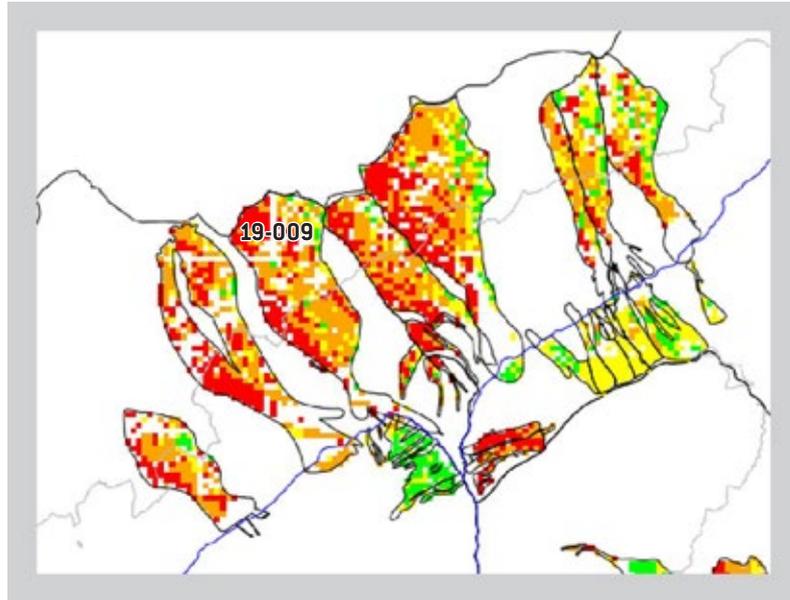


Fig. 17 - Scenario previsto quando è scesa la valanga 19-009 in data 13.12.2017 verso le ore 15.

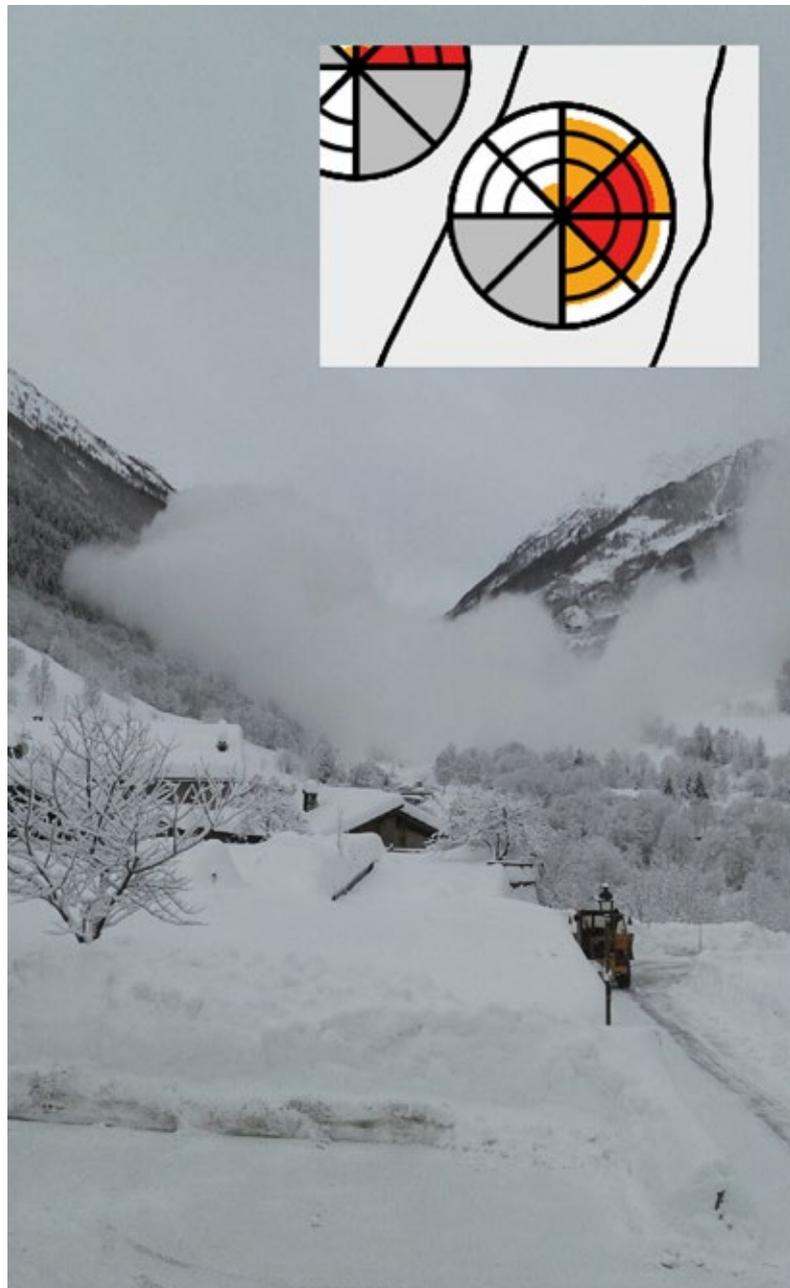
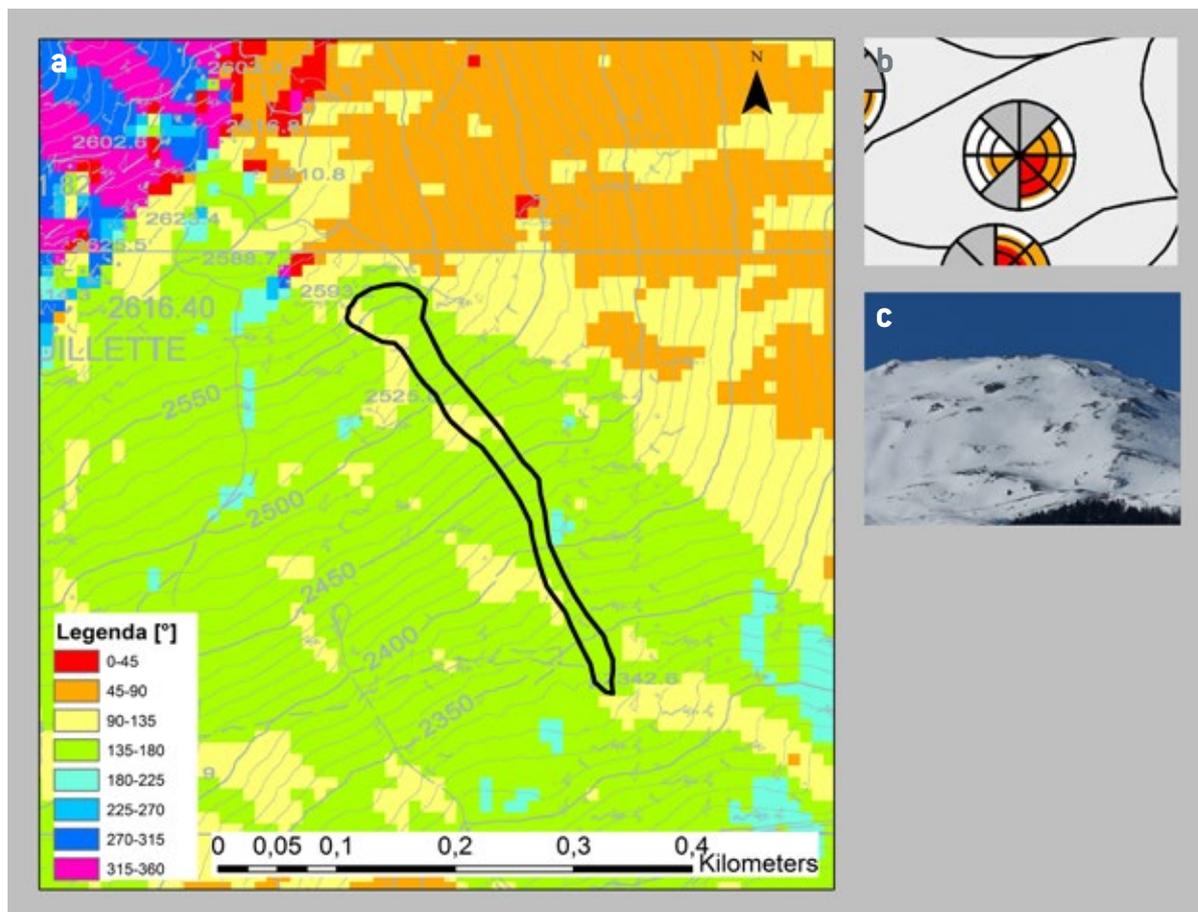


Fig. 18 - Valanga di Blantze scesa il 14.12.2017 con relativo scenario. Foto Comune Rhêmes-Saint-Georges.

Fig. 19 - Evento di Aouillette: esposizione, scenario e foto. Foto S.Pivot.



e di neve fresca, il rialzo termico... Verrà inoltre ulteriormente approfondito il parametro del trasporto eolico, cercando di lavorare sulle limitazioni di cui sopra per migliorare gli attuali scenari presenti sulla piattaforma ed estendendo le visualizzazioni, ove possibile, anche ad alcune esposizioni al momento oscurate a causa di processi di validazione che non sono andati a buon fine (settori in grigio nei grafici a torta). In tale sviluppo è prevista una maggiore collaborazione con i componenti delle CLV per l'osservazione e la validazione dei parametri presi in considerazione, al fine di calibrare i medesimi su contesti territoriali sia a scala di vallata (microaree) sia di singolo bacino. Per poter avere una previsione del trasporto eolico ad una scala molto più di dettaglio, si vorrebbe testare il software WindNinja su alcuni settori della Regione, al fine di tarare suddetto strumento ed eventualmente, in futuro, renderlo operativo. Tale software, infatti, permette, tramite un processo di downscaling, di disporre dei valori di direzione ed intensità del vento ad una scala di 100m

a partire dai valori forniti da Cosmoi2 (maglia di 2.7 km).

Si ricorda, infatti, che il fine ultimo di tutte le analisi e collaborazioni intraprese è quello di sviluppare un sistema più articolato per la previsione, che includa non solo il parametro vento, ma anche gli altri parametri che concorrono alla stabilità del manto nevoso. Questo per integrare sulla Piattaforma CLV scenari sempre più verosimili, a supporto sia dei previsori dell'UNV sia dei componenti delle CLV.

RINGRAZIAMENTI

I dati sono elaborati a partire dal modello Cosmoi2 acquisiti dal centro di calcolo CINECA e resi disponibili dall'Ufficio Meteo del Centro funzionale della Regione Autonoma Valle d'Aosta nell'ambito delle attività istituzionali legate al Sistema di protezione civile.

Si ringraziano tutti coloro che hanno validato la procedura e fornito preziose informazioni sugli eventi verificatisi, in particolare N. Durand, A. Debernardi, S. Pivot, L. Blanchet, M. Giglio, A. Kofler, G. Torelli e A. Welf. Si ringraziano anche

tutti coloro che hanno collaborato a raffinare ed implementare la procedura, in particolare V. Segor, P. Dellavedova, U. Pellegrini, S. Ratto, J. Genovese, A. Ciccoira, L. Perron e P. Saudin.

Si ringraziano, inoltre, tutti coloro che hanno contribuito alla realizzazione delle attività all'interno dei progetti di Cooperazione transfrontaliera. La realizzazione delle attività, infatti, è stata possibile grazie al finanziamento dei seguenti progetti:

- CAPVAL, Progetto strategico STRADA2.0 - Programma di Cooperazione territoriale transfrontaliera 2007-2013, Italia-Svizzera;
- ART_UP_WEB, Programma di Cooperazione Transfrontaliera Interreg V-A Italia-Francia 2014/2020;
- Unità di Ricerca RED (Risk Evaluation Dashboard) - Programma investimenti per la crescita e l'occupazione 2014/2020 (FESR) della Valle d'Aosta;
- Progetto strategico PITEM-RISK, Programma di Cooperazione Transfrontaliera Interreg V-A Italia-Francia 2014/2020.

Bibliografia

- Bovet E., Pitet L., Torlai I., Segor V., Dellavedova P., Pellegrini U. (2018) Wind transport scenarios based on the slope aspect for avalanche risk management purposes. Proceedings of International Snow Science Workshop ISSW 2018, Innsbruck (A).
- Duynin A.K., Kotlyakov V.M. (1980) Redistribution of snow in mountains under the effect of heavy snowstorms, Cold Regions Science and Technology, n° 3, 287-294.
- Föhn, P. (1980) Snow transport over mountain crests. Journal of Glaciology, 26(94), 469-480.
- Segor V., Antonello G., Durand N., Dellavedova P., Frigo B., Pitet L., Saudin P. (2014) CLV Web-Platform: a new tool to support the management of local avalanche hazard. Proceedings of International Snow Science Workshop ISSW 2014, Banff, October 2014.
- Vallata L., Bovet E., Dellavedova P., Ceaglio E., Ratto S., Monti F. (2018). A nearest neighbour method applied in forecasting spontaneous large sized avalanches reaching infrastructures in the Aosta Valley. Proceedings of International Snow Science Workshop ISSW 2018, Innsbruck (A).
- Veitinger J., Sovilla B. and Purves R. S. (2014) Slab avalanche release area estimation: a new GIS tool. Proceedings of International Snow Science Workshop ISSW 2014, Banff, October 2014.



STANDARDIZED SNOW PACK INDEX SSPI NELLE ALPI ORIENTALI

Mauro Valt

ARPAV - Centro Valanghe di Arabba,
via Pradat 5, 32020 Livinallongo del Col di Lana
mauro.valt@arpa.veneto.it

un indicatore per lo Snow Water Equivalent (SWE)

Standardized Snow Pack Index (SSPI) in the Eastern Alps

In the last 10 years, the snowpack has been below the average for 4 winters. This highlighted the need to use appropriate drought indicators for the water resource and for the Snow Water Equivalent (SWE). The Standardized SnowPack Index (SSPI) is an indicator based on the assessment of the probability of observing a certain daily value of snow water equivalent (SWE, kg m⁻²) on certain time scales.

In this article the SSPI is calculated using the data of the automatic stations that measure the snow height and the snow density values. The snow density values of the recent bibliography and those measured directly were used.

The calculation of the SSPI of the eastern Alps (Piave river basin) for the last 10 years has shown consistency with history.

The beginning of the snowpack fusion in the middle of March and not in April (15 days) shows very different SSPI values for the Piave river basin.

Negli ultimi 10 anni, il manto nevoso è stato inferiore alla media per ben 4 inverni. Questo ha evidenziato la necessità di utilizzare degli indicatori di siccità appropriati per la risorsa idrica e per lo Snow Water Equivalente (SWE). Lo Standardized SnowPack Index (SSPI) è un indicatore basato sulla valutazione della probabilità di osservare un certo valore giornaliero di equivalente in acqua della neve (SWE, kg m⁻²) su determinate scale temporali.

Nel presente articolo viene calcolato lo SSPI utilizzando i dati delle stazioni automatiche che misurano l'altezza della neve e i valori di densità della neve. Sono stati utilizzati i valori di densità della neve della bibliografia recente e quelli misurati direttamente.

Il calcolo dello SSPI delle Alpi orientali (bacino del fiume Piave) per gli ultimi 10 anni ha evidenziato una coerenza con la storia.

L'inizio della fusione del manto nevoso a metà del mese di marzo e non ad aprile (15 giorni) evidenzia valori di SSPI molto diversi per il bacino del fiume Piave.



INTRODUZIONE

L'andamento recente delle stagioni invernali sulle Alpi italiane ha posto l'attenzione sulla scarsità della risorsa idrica disponibile sottoforma di neve nei mesi di primaverili ed estivi. La risorsa idrica immagazzinata nel manto nevoso è infatti di fondamentale importanza per la regolazione dei flussi idrici per l'agricoltura, per la produzione di energia elettrica e per le derivazioni di acqua potabile. Il monitoraggio della siccità del manto nevoso si basa sull'analisi di una serie di indicatori che rappresentano i diversi componenti del ciclo idrogeologico: l'altezza del manto nevoso al suolo (HS, cm) e la densità della neve (ρ_b , kgm^{-3}). Gli indicatori rappresentano generalmente delle anomalie statistiche della situazione attuale rispetto alla climatologia a lungo termine in una determinata area e quindi forniscono una misura della gravità probabilistica di un determinato evento (EDO European Drought Observatory <http://edo.jrc.ec.europa.eu/edov2/php/index.php?id=1010>)

Tra gli indicatori di siccità meteorologica, l'indice di precipitazione standardizzato (SPI) e l'indice di precipitazione-eva-

porazione standardizzato (SPEI) sono i più noti.

Per quanto riguarda il manto nevoso, un indicatore è lo Snow Water Equivalent (SWE) che è una variabile importante nel Nord Europa e nelle regioni montuose, poiché influenza la disponibilità di acqua nel corso dell'anno, grazie all'accumulo e allo scioglimento della neve.

Lo Standardized SnowPack Index (SSPI) è l'indicatore che misura le anomalie dell'equivalente nell'acqua di neve (SWE) e può essere utilizzato per identificare il rischio di siccità idrologica all'inizio dell'estate (<http://edo.jrc.ec.europa.eu/edov2/php/index.php?id=1010>)

Tuttavia la determinazione dello SSPI presenta delle notevoli difficoltà per la mancanza di dati misurati a terra in tempo reale.

Ne "Handbook of Drought Indicators and Indices" (WMO, 2016) che fornisce informazioni sugli indicatori di siccità comunemente utilizzati, non viene citato l'indicatore SSPI, presumibilmente per la difficoltà di calcolo e la scarsità di dati omogenei a livello internazionale.

Nelle "Linee Guida sugli indicatori di Siccità e Scarsità idrica da utilizzare nelle attività degli osservatori Distrettuali per l'Uso della Risorsa Idrica" Draft Stato attuale e prospettive Future, maggio 2018" di Mariani et al. (2018), a pag. 8, si evidenzia che gli indicatori proposti fanno parte del set di indicatori individuati da un apposito gruppo di lavoro europeo "Expert Group on Water Scarcity and Droughts" (EGWSD) (TYPASA, 2013; Faergemann, 2012) istituito nell'ambito della programmazione 2010-2012 del Common Implementation Strategy (CIS) della Commissione Europea per la DQA (DIRETTIVA 2000/60/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO E DEL CONSIGLIO del 23 ottobre 2000 che istituisce un quadro per l'azione comunitaria in materia di acque). Gli indicatori principali, lo Standardized Precipitation Index (SPI) (McKee et al., 1993, World Meteorological Organization, 2012), il Water Exploitation Index Plus (WEI+) (Faergemann, 2012), il fraction of Absorbed Photosynthetically Ac-

tive Solar Radiation (fAPAR) (Gobron et al., 2000) sono integrati dagli indicatori Standardized Run-off Index (SRI) (Shukla e Wood, 2008), Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI) (Vicente-Serrano et al., 2010; Begueria et al., 2014) Spring Anomaly Index (SAI) (Romano et al., 2013) e dallo Standardized SnowPack Index (SSPI).

La definizione dello SSPI riportata è: *lo Standardized SnowPack Index (SSPI), indicatore analogo allo SPI in cui si utilizzano i valori dell'equivalente in acqua della neve (SWE-snow water equivalent; in kg m^{-2}) anziché quelli di pioggia, e di cui si consiglia l'utilizzo in quei distretti idrografici/aree in cui è rilevante per la disponibilità della risorsa idrica l'apporto fornito dal manto nevoso/snowpack.*

Nel presente lavoro, dopo una spiegazione matematica dell'indicatore SSPI, viene illustrata la sua applicazione classica e operativa in alcuni bacini nelle Alpi Orientali. Nel presente lavoro l'anno di riferimento è quello idrologico, pertanto il 2019 inizia il 1 ottobre 2018 e termina il 30 settembre 2019.

LO STANDARDIZED SNOWPACK INDEX (SSPI)

L'indicatore SSPI è basato sulla valutazione della probabilità di osservare un certo valore giornaliero di equivalente in acqua della neve (SWE, kg m^{-2}) su determinate scale temporali. Lo SSPI fornisce pertanto informazioni concernenti il volume di neve accumulato in un bacino (ad esempio Piave, Brenta, Po), standardizzato rispetto alla climatologia, a un passo temporale tipicamente decennale e mensile. Questo indicatore deve essere analizzato in combinazione con lo SPI (*Standardized Precipitation Index*) e con lo SRI (*Standardized Run-off Index*) per avere una fotografia completa della situazione di siccità.

La difficoltà nel calcolo di questo indicatore risiede nella stima dello SWE nel bacino montuoso. Pertanto, nell'ambito delle attività dell'EGWSD (Expert Group on Water Scarcity and Droughts) è sta-



ta proposta una modalità alternativa di calcolo del SSPI sviluppata dal *Finnish Meteorological Institute* (FMI) (Pulliainen, J., 2006) che utilizza le stime di SWE prodotte per l'intero emisfero Nord dal progetto *GlobSnow* (<http://www.globsnow.info/>) dell'ESA (European Space Agency).

Sul portale CryoLand GeoPorta (<http://cryoland.enveo.at/services/snow-services/pan-european-snow-products/standardized-snow-pack-indicator>) è possibile scaricare il file raster dello SSPI per l'area 72° N / 11° W a 35° N / 35° E in cui i pixel sono dell'ordine di 10-25 km. I valori di SSPI sono ricavati dallo SWE ricavato tramite radiometria satellitare a microonde miscelata da misurazioni della neve da stazioni meteorologiche. Il prodotto, elaborato su larga scala, fornisce informazioni sul SSPI su base decadale e mensile.

Lo SSPI è calcolato come l'anomalia (normalizzata) delle condizioni correnti di SWE valutata rispetto alla media climatologica su lungo periodo delle condizioni di SWE.

Nel Box 1 è riportata la spiegazione della metodologia di calcolo e di interpretazione dei risultati.

Lo SWE è invece dato dalla relazione

$$SWE = HS * \rho b \quad (\text{Eq. 5})$$

Dove HS è l'altezza del manto nevoso (m) e ρb è la densità del manto nevoso (kg m^{-3}).

Pertanto, in un determinato bacino montuoso, o genericamente in un'area geografica, disponendo di una serie storica di dati di HS e di ρb è possibile calcolare il relativo valore dello SSPI con la metodologia classica senza l'utilizzo dei dati telerilevati.

ALTEZZA DEL MANTO NEVOSO HS

Sul versante meridionale delle Alpi sono attive reti di monitoraggio dell'altezza giornaliera del manto nevoso gestite da Enti e Società diverse (ENEL, ARPA, Società di gestione delle Dighe, etc). La

Box 1

Lo SSPI è calcolato come l'anomalia (normalizzata) delle condizioni correnti di SWE valutata rispetto alla media climatologica su lungo periodo delle condizioni di SWE.

La formulazione dello SSPI mediato su giorni (= 10 o 30) relativo al giorno dell'anno, indicata con, è la seguente:

$$SSPI_{y,d,k} = \frac{SWE_{y,d,k} - SWE_{avg,d,k}}{SWE_{std,d,k}} \quad (\text{Eq. 1})$$

dove è il valore dello SWE mediato su giorni per il giorno dell'anno e è la corrispondente media calcolata sull'intera serie disponibile compresa tra l'anno e l'anno:

$$SWE_{y,d,k} = \frac{1}{n} \sum_{i=d-(k-1)}^{n-k} SWE_{y,i} \quad (\text{Eq. 2})$$

$$SWE_{avg,d,k} = \frac{1}{y_1 - y_0} \sum_{i=y_0}^{y_1} SWE_{i,d,k} \quad (\text{Eq. 3})$$

avendo indicato con la corrispondente deviazione standard:

$$SWE_{std,d,k} = \sqrt{\frac{1}{(y_1 - y_0) - 1} \sum_{i=y_0}^{y_1} (SWE_{i,d,k} - SWE_{avg,d,k})^2} \quad (\text{Eq. 4})$$

I valori di SSPI minori o uguali a -2 indicano che, statisticamente, l'accumulo nivale è notevolmente inferiore alla norma, mentre valori maggiori o uguali a 2 indicano che l'accumulo è notevolmente superiore alla norma, secondo la classificazione di Tab. 1 (http://edo.jrc.ec.europa.eu/documents/factsheets/factsheet_ssipi.pdf)

CLASSIFICAZIONE DELLO SSPI

Classificazione della severità	Probabilità dell'evento [%]	Probabilità cumulata	Valore dello SSPI
Notevolmente superiore alla norma	2,3%	0,977 - 1	SSPI ≥ 2,00
Molto superiore alla norma	4,4%	0,933 - 0,977	1,50 ≤ SSPI < 2,00
Superiore alla norma	9,2%	0,841 - 0,933	1,00 ≤ SSPI < 1,50
Vicino alla norma	68,2%	0,159 - 0,841	-1,00 < SSPI < 1,00
Inferiore alla norma	9,2%	0,067 - 0,159	-1,50 < SSPI ≤ -1,00
Molto inferiore alla norma	4,4%	0,023 - 0,067	-2,00 < SSPI ≤ -1,50
Notevolmente inferiore alla norma	2,3%	0 - 0,023	SSPI ≤ -2,00

© AINEVA

Tab. 1

distribuzione geografica delle reti è stata molto variabile nel tempo, con una fitta rete tradizionale e manuale fino agli anni '70 (Gazzolo e Pinna, 1973), progressivamente dismessa nel tempo e sostituita o integrata da sistemi automatici di misura (Cagnati, 1986).

Dalla fine degli anni '80 il numero di stazioni automatiche è andato via via aumentando e attualmente sono disponibili serie trentennali sui principali portali dei servizi valanghe regionali o provinciali (es. www.arpa.piemonte.it, www.arpa.veneto.it, www.meteotrentino.it). Il valore di HS nelle stazioni tradizionali

è di norma riferito alle ore 8:00 del mattino secondo gli standard internazionali, mentre per le stazioni automatiche è facilmente accessibile il valore medio giornaliero (Cagnati, 2003).

I dati vengono acquisiti in tempo reale nella maggior parte delle reti odierne e sono spesso disponibili come open data.

DENSITÀ DEL MANTO NEVOSO ρb

La densità del manto nevoso viene misurata tramite campionamento verticale (Berni e Giancanelli, 1966) o orizzontale (Cagnati, 2003).

NEVE

Le misure di densità effettuate dai servizi valanghe regionali e provinciali del versante meridionale delle Alpi, gestiti con il software Yeti Nick (Valt et al., 2013), sono disponibili con serie storiche di 10-35 anni per diverse località delle Alpi.

Per alcuni settori delle Alpi italiani alcuni autori hanno proposto metodi diversi per la determinazione dello SWE o per l'identificazione della densità della neve. Bocchiola e Rosso (2007) hanno proposto una distribuzione statistica giornaliera dello SWE per le Alpi centrali, Pistocchi (2016, 2017) ha confrontato i risultati dei lavori di Jonas et al. (2009) e Sturm et al. (2010) sui dati, mentre Valt e Moro (2009) hanno identificato i caratteristici valori di densità del manto nevoso delle Alpi orientali. Nel lavoro di Valt et al. (2018) sono stati calcolati i valori caratteristici di densità del manto nevoso per la suddivisione geografica SOIUSA (Marazzi, 2005) delle Alpi meridionali.

I dati di densità del manto nevoso dei servizi valanghe sono acquisti nell'arco delle 24 ore dal momento del rilievo e quindi, aggregati, possono dare l'indicazione della densità della neve in tempo reale durante la stagione invernale. Ad inizio e alla fine della stagione invernale, nei mesi di novembre, aprile e maggio quando gli impianti di risalita sono chiusi, si nota una carenza di dati per la difficoltà di accesso ai campi neve.

Nel presente lavoro sono stati utilizzati i dati relativi al bacino del Piave e del Cordevole, ricadenti nelle aree 31 e 32 della classificazione SOIUSA.

In Tab. II sono riportati le polinomiali di ordine 2 delle singole stagioni invernali. Il valore di R² è molto variabile anche in relazione all'andamento della stagione invernale.

Con i modelli di simulazione del manto nevoso, tipo Snowpack (Lehning et al. 2002) è possibile disporre in tempo re-

ale anche dei dati simulati di densità del manto nevoso.

Il vantaggio dei dati di Snowpack è la disponibilità in tutto il periodo in cui il manto nevoso è presente, sia ad inizio che a fine stagione.

Nel presente lavoro sono stati confronti i dati delle simulazioni di Snowpack con le misure a terra degli ultimi 5 anni per poter verificare la possibilità che questo flusso di dati continuo possa sostituire o integrare i dati misurati.

Nella Tab. II, sono riportate le rispettive equazioni stagionali delle simulazioni di Snowpack.

IL DATA SET DELLE DOLOMITI VENETE

Nel presente lavoro viene considerato un data set di dati dal 2010 al 2019, anche se è disponibile la serie storica di oltre 30 anni di dati di altezza neve e densità del manto nevoso. La scelta di un periodo breve è motivata dal fatto che dal 2010 ad oggi, si sono succedute delle stagioni invernali caratterizzate da una variabilità della neve al suolo: le stagioni 2009-2010 e 2013-2014 sono state estremamente nevose, mentre quelle del 2015-2016 e 2017-2018 sono state poco nevose, le rimanenti nella media. Sono stati considerati i dati di altezza neve delle stazioni nivometeorologiche automatiche della rete regionale gestita da ARPA Veneto ubicate nelle Dolomiti (Fig. 1), i dati di densità del manto nevoso elaborati per l'area delle Dolomiti (Valt et al. 2018), i dati di densità forniti da SnowPack per le ultime 5 stagioni invernali.

L'area di studio e di calcolo dell'indice SSPI è il bacino del fiume Piave (chiuso a Soverzene) e del Cordevole, affluente di destra del Piave, per circa 2000 km² di superficie complessivi (Fig. 2).

I due bacini hanno una estensione che comprende meno del 7% del territorio al di sotto dei 1000 m di quota, l'11% fra i 1000 e i 1250 m, una ripartizione intorno al 18-19% nelle 3 fasce superiori di 250 m ciascuna di altitudine, il 14% fra i 2000 e i 2250 m e il 12% oltre tale quota.

Tab. 2

Fig. 1 - Estratto da Google Earth con l'ubicazione delle stazioni nivometeorologiche automatiche (AWS) e per le quali sono disponibili le elaborazioni di SnowPack. Colorati i vari sottobacini del fiume Piave e Cordevole.

	Misure a terra		da Snowpack
2010	$y = 0,0072x^2 - 0,5725x + 278,61$	$R^2 = 0,732$	
2011	$y = 0,0028x^2 + 0,381x + 258,43$	$R^2 = 0,5706$	
2012	$y = 0,016x^2 - 2,2196x + 307,2$	$R^2 = 0,518$	
2013	$y = 0,0101x^2 - 1,4129x + 321,43$	$R^2 = 0,5165$	
2014	$y = 0,0067x^2 - 0,1699x + 256,02$	$R^2 = 0,8439$	
2015	$y = 0,0229x^2 - 4,2408x + 434,9$	$R^2 = 0,6157$	$y = 0,0032x^2 + 0,596x + 169,46$ $R^2 = 0,905$
2016	$y = 0,0174x^2 - 2,4352x + 295,32$	$R^2 = 0,7141$	$y = 0,0039x^2 + 1,0468x + 60,088$ $R^2 = 0,9183$
2017	$y = 0,0122x^2 - 0,8091x + 196,43$	$R^2 = 0,5458$	$y = 0,0068x^2 - 0,0012x + 170,2$ $R^2 = 0,8339$
2018	$y = 0,0037x^2 + 0,1634x + 233,96$	$R^2 = 0,5252$	$y = 0,0039x^2 + 0,1994x + 261,67$ $R^2 = 0,787$
2019	$y = 0,0136x^2 - 1,4386x + 273,18$	$R^2 = 0,5305$	$y = 0,002x^2 + 1,0159x + 163,06$ $R^2 = 0,8657$
2010-2019	$y = 0,0115x^2 - 1,4485x + 299,91$	$R^2 = 0,5437$	

© AINEVA



Nell'area mediamente si misurano 100-120 cm di neve fresca a 750-850 m, 230-300 cm a 1200 m in funzione della esposizione della valle ai venti di scirocco (maggiore in quelle con sviluppo W-E), 340-400 cm a 1600 m, 600-700 cm di neve a 2200 m.

La neve al suolo permane 100-110 giorni a 1200 m di quota, 125 giorni a 1600 m e 150 giorni a 2200 m di quota.

Lo spessore di massima altezza della neve al suolo viene raggiunto nella prima decade di marzo.

Nei 2 bacini la risorsa idrica nivale è monitorata da diversi Enti (ENEL, ARPAV, etc.) con la redazione di specifici report (www.arpa.veneto.it) anche a supporto delle attività del Distretto Idrografico delle Alpi Orientali (<http://www.alpiorientali.it/15-alpiorientali.html>).

ELABORAZIONE DEI DATI

Per il periodo 2000-2019 è stato calcolato il valore medio giornaliero di altezza della neve al suolo (HS) come media di tutte le stazioni (AWS), non tenendo conto delle differenze altitudinali e senza considerare dei pesi in funzione della superficie della fascia altimetrica in cui ricadono. Questa scelta è stata fatta in considerazione dell'ampia distribuzione geografica delle stazioni, che non permette specifiche affinzioni del metodo di indagine.

Nella Fig. 3 sono rappresentate le varie stagioni invernali. E' possibile osservare la scarsità di neve degli inverni 2012 e 2017, la scarsità di neve fino al 1 febbraio degli inverni 2012, 2016, 2017 e 2019 (4 inverni su 10) e poco di più nel 2015, gli inverni maggiormente nevosi del 2010, 2011, 2013 e 2018 e l'estremamente nevoso del 2014.

Per la densità media della neve sono stati considerati diversi approcci:

- densità giornaliera $\rho_{d,souisa}$ del manto nevoso mediata su k giorni (10) ricavata con l'equazione espresse nel lavoro di Valt et al. (2018) per le alpi italiane per l'area SOIUSA 31-Dolomiti (equazione unica per tutte le stagioni invernali);



Fig. 2 - Area di studio di calcolo dell'indice SSPI, bacino del fiume Piave e del Cordevole.

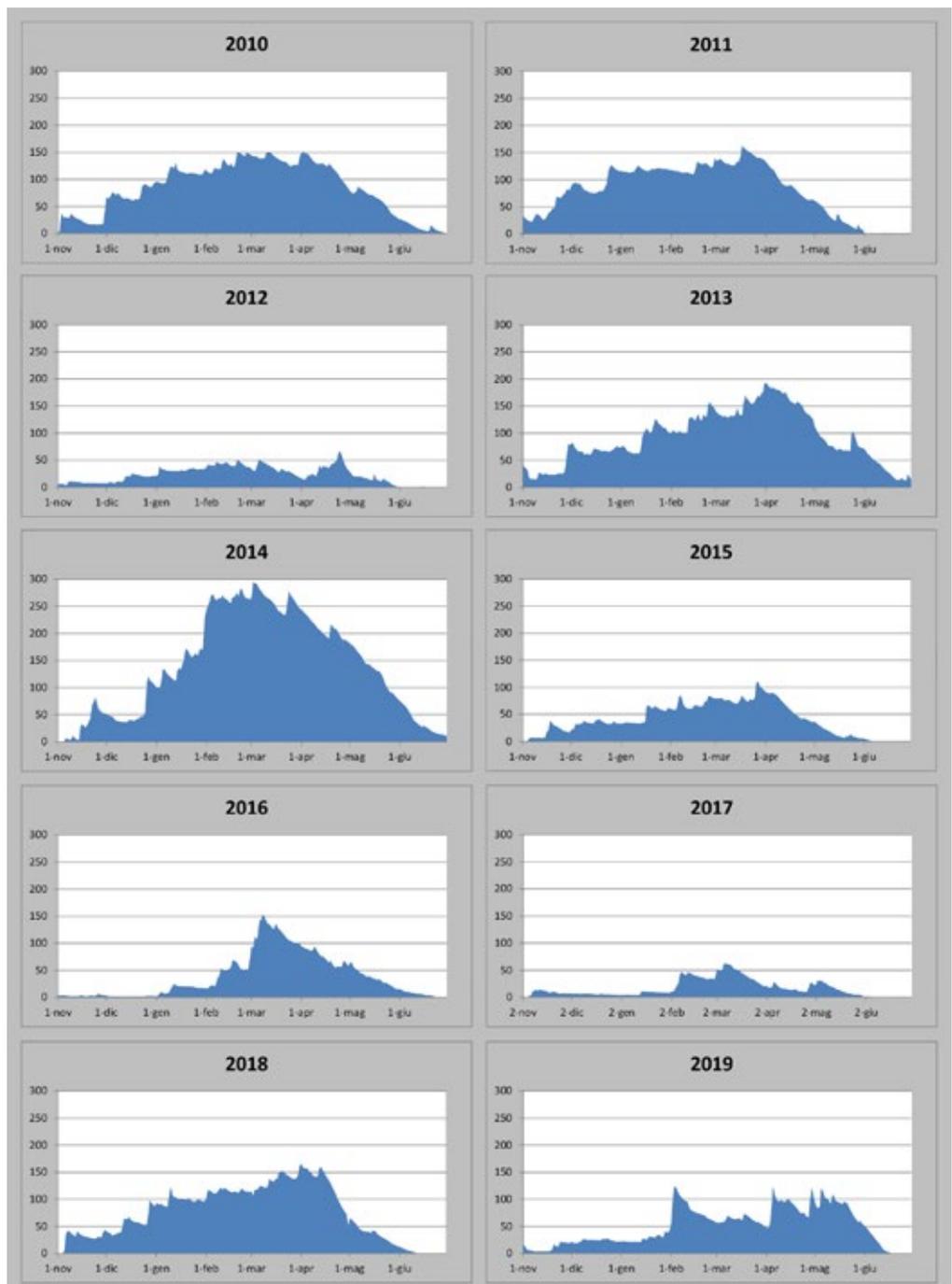


Fig. 3 - Altezza manto nevoso (HS) medio per stagione invernale in cm del bacino del Piave e del Cordevole.

NEVE

Fig. 4 - Andamento della densità del manto nevoso. In ascissa i giorni della stagione invernale da novembre (d=1) a fine maggio (d=212), in ordinate il valore di densità in kg m^{-3} per le 4 diverse tipologie di aggregazione dei dati.

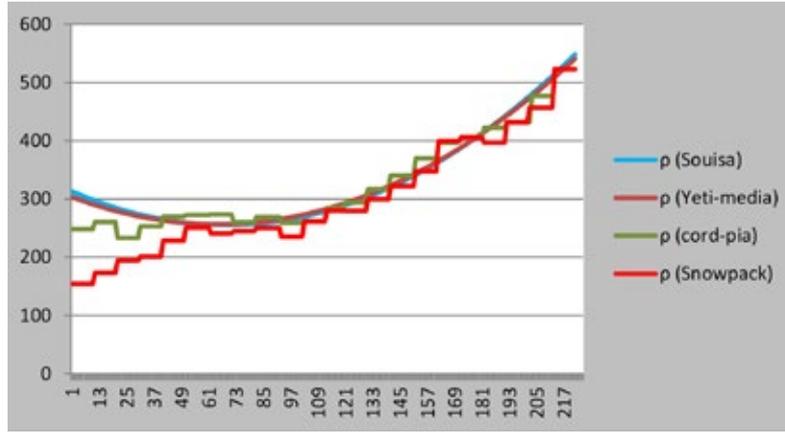
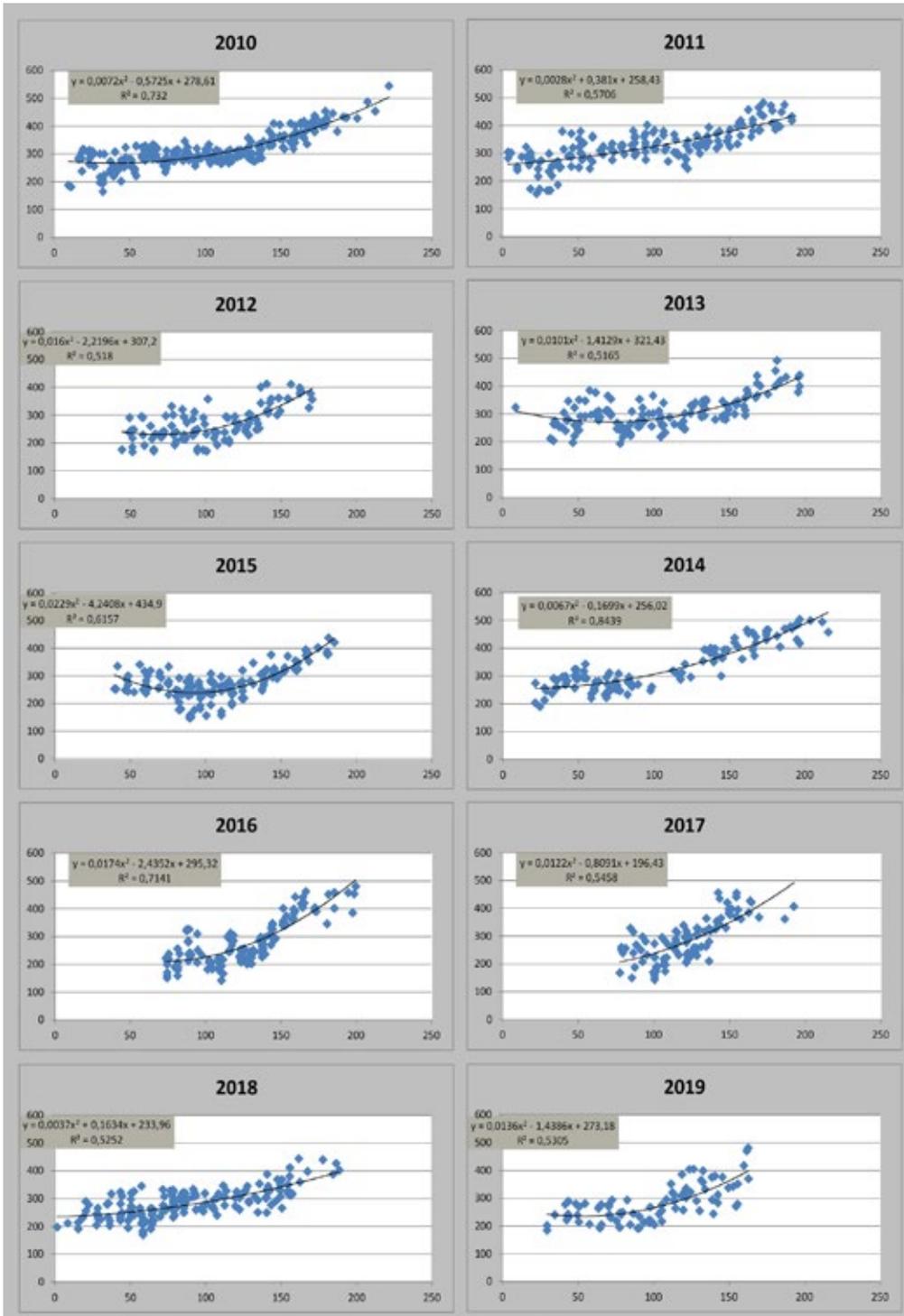


Fig. 5 - Andamento stagionale della densità del manto nevoso in kg m^{-3} .



- densità giornaliera $\rho_{d,yeti}$ del manto nevoso mediata su k giorni (10) per stagione invernale ricavata con l'equazione elaborata con le misure di densità effettuate nel bacino del Piave e del Cordevole fra il 2010 e il 2019 (equazione specifica per stagione invernale);
- densità giornaliera $\rho_{d,cord-pia}$ del manto nevoso mediata su k giorni (10) calcolata come media dei singoli valori di densità delle misure effettuate nel bacino del Piave e Cordevole;
- densità giornaliera $\rho_{d,snowpack}$ del manto nevoso mediata su k giorni (10) del valore di densità del manto nevoso fornite del modello.

In Fig. 4 sono rappresentati i diversi andamenti stagionali delle 4 tipologie di dati di densità del manto nevoso. Sono molto simili fra di loro, eccetto nel mese di novembre.

In Fig. 5, la nuvola di misure per stagione invernale con la rispettiva polinomiale di ordine 2, riassunte anche in Tab. II. Dalla nuvola dei dati è stata ricavata anche la densità $\rho_{d,cord-pia}$ integrando le decadi ($k=10$) senza dati di inizio e fine stagione invernale, con il valore medio del periodo ricavato con i dati delle altre stagioni invernali.

In Fig. 6 sono raffigurati i dati di $\rho_{d,cord-pia}$ e di $\rho_{d,snowpack}$, per le stagioni invernali dal 2015 al 2019 per le quali è possibile effettuare un confronto e quindi una verifica della buona correlazione fra i dati misurati e quelli simulati. I dati simulati consentono di disporre di dati significativi anche ad inizio e fine stagione. In generale, ad inizio stagione i dati di $\rho_{d,snowpack}$ sono più bassi di quelli $\rho_{d,yeti}$ in quanto i primi corrispondenti alla reale neve fresca di inizio stagione mentre i secondi, più elevati, legati alla forma della coda della polinomiale.

I valori di densità disponibili $\rho_{d,souisa}$, $\rho_{d,yeti}$ e $\rho_{d,cord-pia}$ corrispondono a livelli diversi di dettaglio della disponibilità di informazioni sui valori di densità della neve per le Alpi Italiane.

I valori di $\rho_{d,souisa}$ sono disponibili dalla letteratura (Valt et al., 2018; Guyenonn

et al., 2019) per tutte le aree italiane suddivise secondo SOUISA (Marazzi, 2005). I valori $\rho_{d,yeti}$ e $\rho_{d,cord-pia}$ provengono da elaborazioni dei dati di bacino che possono corrispondere anche all'intersezione di 2 o più parti di aree SOUISA con approcci di calcolo diversi. I valori derivati dalle equazioni $\rho_{d,yeti}$ possono essere una buona soluzione per la ricostruzione veloce di data base di riferimento ma mal si adattano alla gestione del tempo reale che necessiterebbe di continue variazioni della equazione durante la stagione invernale, in funzione della disponibilità dei dati. I valori calcolati come $\rho_{d,cord-pia}$ sono una buona soluzione per la gestione del tempo reale e quindi dell'analisi del flusso di dati di densità a disposizione dei servizi valanghe o dei gestori delle reti di monitoraggio. Questi dati, essendo legati ai rilievi in campo, hanno importanti carenze ad inizio e fine stagione e possono rappresentare un limite. I valori di $\rho_{d,snowpack}$, pur simulati, rappresentano una buona soluzione soprattutto per la gestione del tempo reale. Il flusso di dati del modello è generalmente giornaliero o anche a scadenze ancor più ridotte (6 ore) ed è facilmente gestibile.

RISULTATI

È stato determinato l'indice $SSPI_{cord-pia}$ per singola stagione invernale (Fig. 7). Complessivamente in 10 anni sono state 1530 le giornate con l'indice nella media (72 %), 266 giornate con un indice inferiore alla media (13%) e 334 le giornate con un indice superiore (15%) (Tab.III).

Le caratteristiche delle singole stagioni invernali evidenziano gli inverni nevosi del 2011, 2013 e 2014 e quelli con periodi di siccità prolungata come nel 2017 e 2016, rispettivamente con 113 e 92 giornate con l'indice inferiore alla media.

Sulla base dei 10 anni di dati, non emerge alcun periodo con un indice di siccità nivale molto (probabilità dell'evento

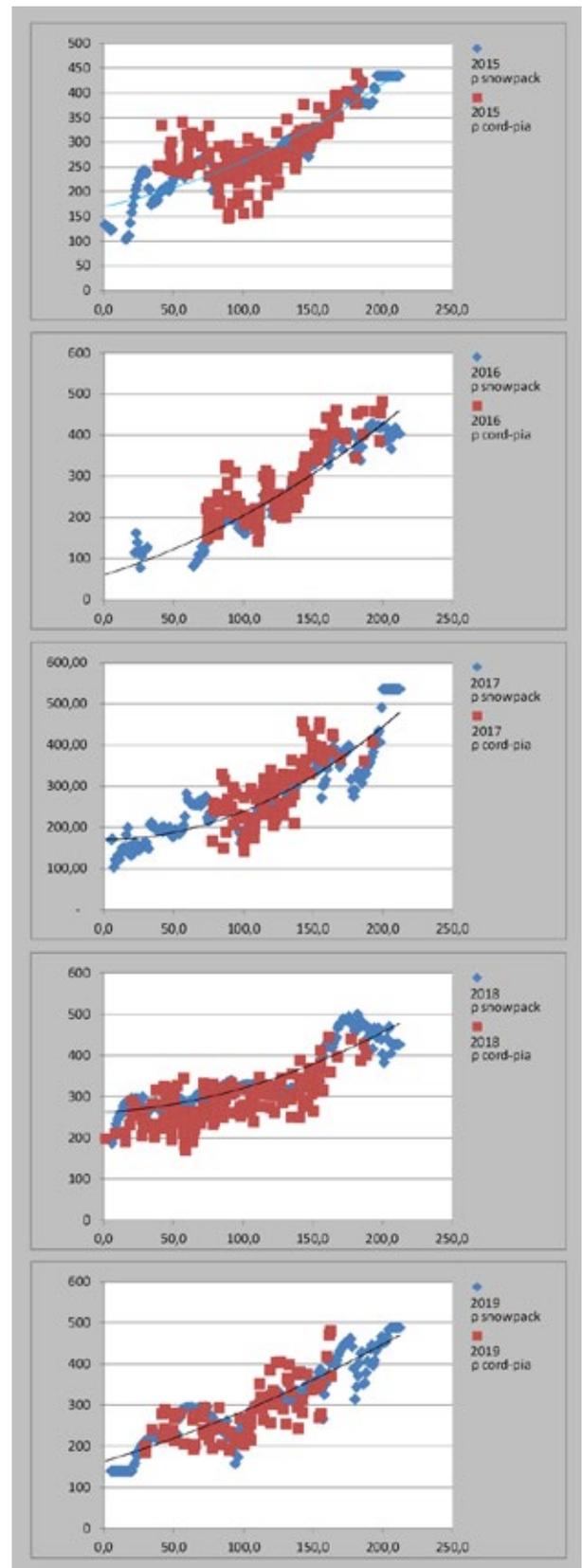
inferiore al 4,4%) o notevolmente inferiore (probabilità dell'evento inferiore al 2,3%) alla media (Tab. II).

L'indice del 2011 evidenzia una rapida decrescita nel periodo primaverile rispetto al 2010, pur essendo le 2 stagioni invernali molto simili come innevamento. Infatti, nella seconda decade del mese di marzo, gli spessori di neve al suolo, sono simili nelle 2 annate. L'inizio anticipato dell'ablazione di 15 giorni nel 2011, ha prodotto una diminuzione dell'indice rispetto alla stazionarietà del 2010.

Gli inverni 2012 e 2017, caratterizzati da poca neve, sono anche molto simili come SSPI, come anche le stagioni 2016 e 2018, caratterizzate da un recupero del valore dello SSPI in tarda primavera dopo un inizio siccitoso. Anche la stagione 2013, il cui valore massimo di HS è nei primi giorni di aprile (come il 2010), è caratterizzata da un elevato valore di SSPI in primavera. La stagione 2018, caratterizzata da una accelerata ablazione a partire dalla seconda decade del mese di aprile, evidenzia un abbassamento dell'indice, pur rimanendo "vicino alla media".

A titolo sperimentale è stato determinato $SSPI_{souisa}$ utilizzando 30 anni di dati altezza neve (1990-2019) utilizzando la $\rho_{d,souisa}$. La scelta del lungo periodo di analisi per lo spessore del manto, utilizzando un valore medio di densità uguale per tutte le stagioni invernali, è stata effettuata per poter verificare se gli estremi dello SSPI determinati nel decennio 2010-2019, sono legati alla sola variabilità recente o se hanno una conferma sul lungo periodo. In Tab. IV sono riassunti i risultati. Nelle stagioni 2017 e 2016 sono 52 e 11 le giornate con un indice di molto inferiore alla media, che non risultavano nella variabilità 2010-2019. Questo indica che i 2 inverni hanno avuto periodi con una siccità importante rispetto al lungo periodo, ma più "nella normalità" rispetto al tempo recente.

Gli inverni 2010 e 2016 hanno un numero di giorni con un indice più elevato



sul lungo periodo che nel breve. Questo è dovuto alla importante nevosità del 2014 che, nelle elaborazioni del periodo 2010-2019, tende a "comprimere" verso la normalità le giornate che sul lungo periodo sono giudicate con un indice SSPI maggiore.

Fig. 6 - Andamento stagionale di $\rho_{d,cord-pia}$ e di $\rho_{d,snowpack}$ per le 5 stagioni invernali considerate.

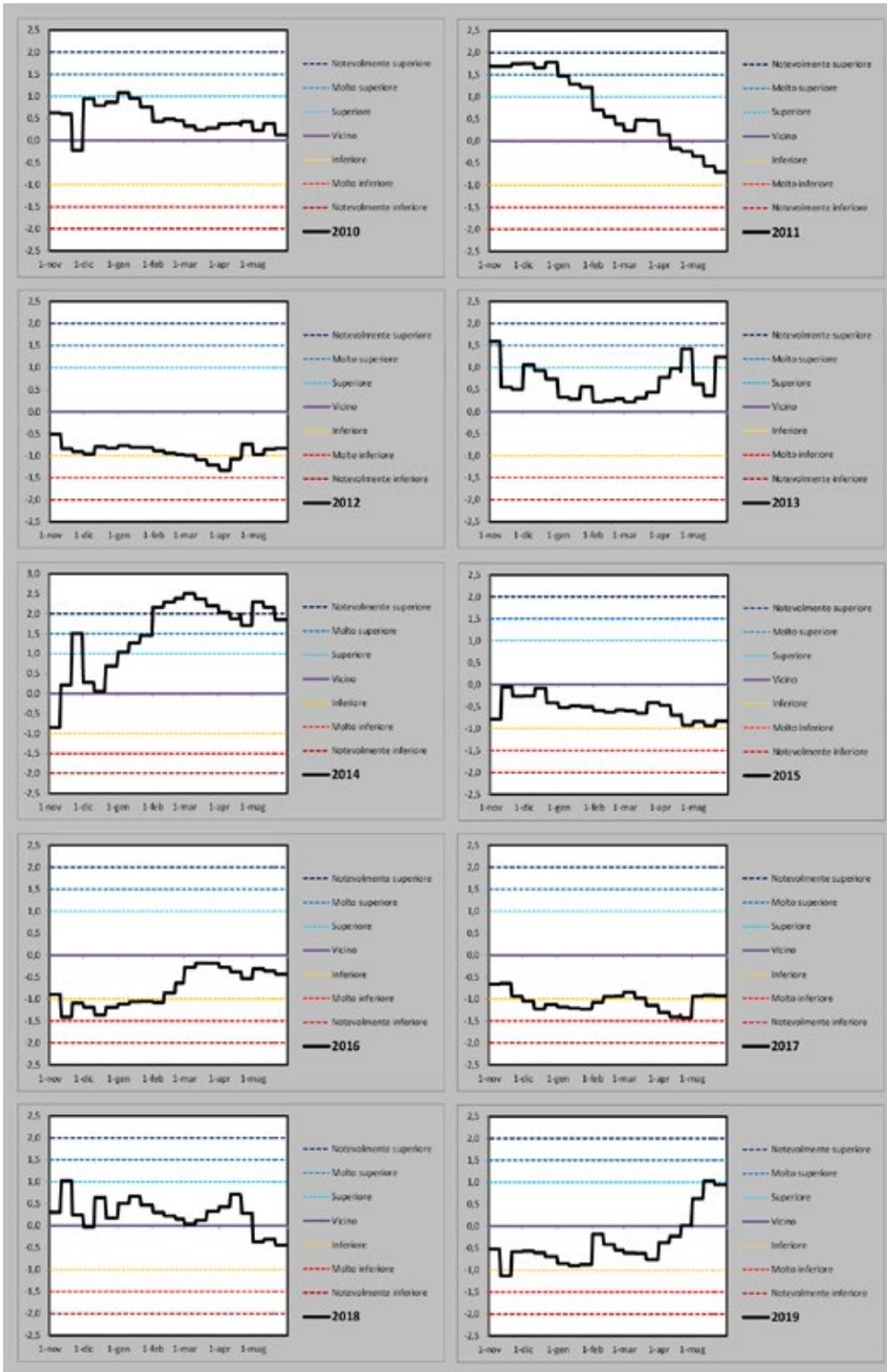


Fig. 7 - Indice SSPI calcolato per il periodo 2010-2019.

SSPI	2019	2018	2017	2016	2015	2014	2013	2012	2011	2010
3,00	0	0	0	0	0	89	0	0	0	0
2,00	0	0	0	0	0	41	10	0	61	0
1,50	10	10	0	0	0	31	31	0	31	10
1,00	31	161	0	0	0	41	171	0	69	192
0,00	161	41	99	120	212	10	0	171	51	10
-1,00	10	0	113	92	0	0	0	41	0	0
-1,50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-2,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-3,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tab. 3

© AINEVA

SNOWPACK

Il Centro Valanghe di Arabba (Arpa Veneto) utilizza le elaborazioni di SnowPack dal 2004 (Lehning et al., 2002) nei processi di previsione valanghe a supporto anche delle attività di Protezione Civile. Fra i parametri di output disponibili c'è anche la densità del manto nevoso, che è stata utilizzata per il tempo reale dello SSPI durante la stagione invernale 2019. Per il periodo 2015-2019, è stato determinato il valore dell'indice $SSPI_{snowpack}$ utilizzando i valori di densità $\rho_{d,snowpack}$. Anche il valore di HS è disponibile nelle simulazioni, ma non è stato utilizzato per diminuire le variabili rispetto al SSPI, $SSPI_{cord-pia}$ e $SSPI_{cord-pia}$.

Lo $SSPI_{snowpack}$ presenta una elevata correlazione, fra 0,89 e 0,99, con lo $SSPI_{cord-pia}$. Solo nella stagione 2015 è inferiore a 0,70 a causa dei valori di densità del manto nevoso sono molto diversi fra $\rho_{d,cord-pia}$ e $\rho_{d,snowpack}$ nel mese di novembre.

CONCLUSIONI

Lo Standardized Snowpack Index (SSPI) può essere determinato per bacino montano disponendo di una serie storica di dati di altezza neve al suolo (HS) e di valori di densità del manto nevoso (ρ_b). I principali servizi valanghe dell'arco alpino italiano dispongono di entrambi le informazioni e quindi è possibile determinare lo SSPI anche con questa metodologia. I vantaggi della metodologia proposta è che può essere adattata a livello di bacino alpino e quindi con una risposta migliore rispetto alla metodologia filandese da telerilevamento con pixel di 10-25 km di lato.

L'utilizzo del flusso dei dati di Snowpack facilita il tempo e la valutazione dello SSPI ad inizio stagione ma soprattutto nella fase dell'ablazione alpine (aprile-giugno) quando il flusso di dati delle misure dirette a terra diminuisce o si interrompe. L'analisi dei dati con serie storiche brevi (10 anni) o lunghe (30 anni) evidenzia caratteristiche di siccità diverse negli anni con scarsa risorsa idrica nivale disponibile. L'anticipo della ablazione di 15

giorni, rispetto alla prima decade di aprile, comporta una diminuzione importante dell'indice per tutta la primavera. Lo sviluppo futuro sarà l'applicazione a livello di arco alpino italiano con serie storiche di 10 e 30 anni e l'analisi comparata con gli output derivati dalla metodologia norvegese (Pulliainen, 2006) e pubblicato sul sito *GlobSnow* (<http://www.globsnow.info/>).

SSPI	2019	2018	2017	2016	2015	2014	2013	2012	2011	2010
3,00	0	0	0	0	0	131	0	0	0	0
2,00	0	0	0	0	0	10	31	0	41	10
1,50	21	30	0	0	0	20	49	0	52	28
1,00	40	141	0	31	0	31	132	0	68	164
0,00	110	41	81	89	212	20	0	91	51	10
-1,00	41	0	79	81	0	0	0	121	0	0
-1,50	0	0	52	11	0	0	0	0	0	0
-2,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-3,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

© AINEVA

Bibliografia

- Berni A. e Giancanelli E., (1966). La campagna di rilievi nivometrici effettuata dall'ENEL nel periodo febbraio - giugno 1966. *Energia elettrica*, n. 9, 542-533
- Begueria S., Vicente-Serrano S.M., Reig F., Latorre B., (2014). Standardized precipitation evapotranspiration index (SPEI) revisited: parameter fitting, evapotranspiration models, tools, datasets and drought monitoring. *International Journal of Climatology*, 34, 3001- 3023. DOI: 10.1002/joc.3887.
- Bocchiola D. e Rosso R., (2007). The distribution of daily snow water equivalent in the central Italian Alps. *Water Resources*, 30 (2007), 135-147.
- Cagnati A., (1986). La misura di altezza del manto nevoso con il metodo ecometrico. *Neve e valanghe* n. 4, 48-51
- Cagnati A., (2003). Strumenti di misura e metodi di osservazione nivometeorologici: manuale per i rilevatori dei servizi di previsione valanghe. AINEVA, Trento, 133 pp.
- Faergemann H., (2012). Update on water scarcity and droughts indicator development, May 2012, presented at the Water Director's Meeting, 4-5 June 2012, Denmark. Disponibile su CIRCABC della Commissione Europea all'indirizzo: [https://circabc.europa.eu/sd/d/4d22ad88-707e-4856-af63-253353c7eed8/1_Update on Water Scarcity and Droughts indicator development May 2012.doc](https://circabc.europa.eu/sd/d/4d22ad88-707e-4856-af63-253353c7eed8/1_Update%20on%20Water%20Scarcity%20and%20Droughts%20indicator%20development%20May%202012.doc).
- Gobron N., Pinty B., Verstraete M.M., Widowski J.-L., (2000). Advanced Vegetation Indices Optimized for Up-Coming Sensors: Design, Performance and Applications. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 38, 2489-2505.
- Guyennon N., Valt M., Salerno F., Petrangeli A.B. e Romano E. (2019). Estimating the snow water equivalent from snow depth measurements in the Italian Alps , *Cold Regions Science and Technology*, <https://doi.org/10.1016/j.coldregions.2019.102859>
- Jonas T., Marty C., e Magnusson J., (2009). Estimating the snow water equivalent from snow depth measurements in the swiss alps. *J. Hydrol.* 378, 161-167.
- Lehning M., Bartelt P.B., Brown R.L., Fierz C., Satyawali P. (2002). A physical SNOWPACK model for the Swiss Avalanche Warning Services. Part II: Snow Microstructure, *Cold Reg. Sci. Technol.*, 35/3, 147-167
- Marazzi, S. (2005). Atlante orografico delle Alpi: SOIUSA: suddivisione orografica internazionale unificata del sistema alpino. Priuli & Verlucca
- Mariani S., Braca G., Romano E., Lastoria B., BUsetini M. (2018). Linee Guida sugli indicatori di Siccità e Scarsità idrica da utilizzare nelle attività degli osservatori Distrettuali per l'Uso della Risorsa Idrica. Draft , 58 pp
- McKee T.B., Doesken N.J., e Kleist, J., (1993). The relationship of drought frequency and duration of time scales. Eighth Conference on Applied Climatology, American Meteorological Society, January 17-23, 1993, Anaheim CA, pp. 179-186.
- Gazzolo T., Pinna M., (1973). La nevosità in Italia nel Quarantennio 1921-1960 (gelo, neve e manto nevoso). Ministero dei Lavori Pubblici, Consiglio Superiore, Servizio Idrografico. Pubblicazione n. 26 del Servizio. Istituto Poligrafico dello Stato, Roma, 216 pp.
- Pistocchi A., (2016). Simple estimation of snow density in an Alpine region. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 6, 82-89.
- Pistocchi A., Bagli S., Callegari M., Notarnicola C. e Mazzoli P., (2017). On the Direct Calculation of Snow Water Balances Using Snow Cover Information , *Water*, 2017,9,848: doi:10.3390/w9110848
- Pulliainen, J., (2006) . Mapping of snow water equivalent and snow depth in boreal and sub-arctic zones by assimilating space-borne microwave radiometer data and ground-based observations. *Remote Sensing of Environment*, vol. 101, pp. 257-269.
- Romano E., Del Bon A., Petrangeli A.B., e Preziosi E., (2013). Generating synthetic time series of springs discharge in relation to standardized precipitation indices. Case study in Central Italy. *Journal of Hydrology*, 507, 86-99. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2013.10.020.
- Shukla S., Wood A.W., (2008). Use of a standardized runoff index for characterizing hydrologic drought. *Geophysical Research Letters*, 35, L02405. DOI: 10.1029/2007GL032487.
- TYPSA, (2013). Service contract for the support to the follow-up of the Communication on Water scarcity and Droughts. *Water Scarcity&Drought Indicators' Fact Sheets*.
- Sturm M., Taras B., Liston G.E., Derksen C., Jona, T., and J. Lea, (2010). Estimating Snow Water Equivalent Using Snow Depth Data and Climate Classes. *J. Hydrometeorol.* 11, 1380-1394, <http://dx.doi.org/10.1175/2010JHM1202.1>
- Valt, M., Chiambretti, I., e Dellavedova, P., (2012). YETI - a software to service the avalanche forecaster: Proceedings of Advances in Avalanche Forecasting - Section 2 New approaches and tools for avalanche forecasting, Podbanské, Slovakia, 22nd Oct. 2012, Eds. Richnavsky, J., Biskupic, M., and Kyzek, F., p. 38-43.
- Valt M., Romano E. e Guyennon N., (2018). Snowcover density and Snow Water Equivalent in the Italian Alps. Proceedings, International Snow Science Workshop, Innsbruck, Austria, 2018, 452-456
- Valt M. e Moro D. (2009). Average snowcover density in eastern Alps Mountain. *Geophysical Research Abstract- Vol. 11, EGU 2009-5289-2009*
- Vicente-Serrano S.M., López-Moreno J.I., Begueria S., Lorenzo-Lacruz J., Azorin-Molina C., Morán-Tejeda, E., (2012). Accurate Computation of a Streamflow Drought Index. *Journal of Hydrologic Engineering*, 17(2) , 318-332. DOI: 10.1061/(asce)he.1943-5584.0000433.
- World Meteorological Organization (2012). Standardized Precipitation Index User Guide (M. Svoboda, M., Hayes, M., Wood, D.). WMO-No. 1090, Geneva.
- World Meteorological Organization (WMO) and Global Water Partnership (GWP). (2016). Handbook of Drought Indicators and Indices. (M. Svoboda and B.A. Fuchs). Integrated Drought Management Programme (IDMP), Integrated Drought Management Tools and Guidelines Series 2. Geneva. ISBN 978-92-63-11173-9.

Analisi storica del parametro SWE in Trentino

EQUIVALENTE in ACQUA della NEVE

Il metodo
di stima a
scala locale
sviluppato
in Provincia
autonoma
di Trento

Paolo Tranquillini,
Walter Beozzo,
Paolo Cestari,
Matteo Dall'Amico,
Stefano Tasin,
Alberto Trenti
Stefano Cappelletti
Provincia Autonoma di Trento

HISTORICAL REANALYSIS OF SNOW WATER EQUIVALENT IN TRENTINO

Climate change is posing an increasing concern and the extreme weather events, be it flooding or drought, attract the attention of the public ever more frequently. The awareness of a change in the climate compels the Public Administration to provide itself with adequate tools to predict and possibly manage the impacts of these events on the environment. Principally the management of drought is becoming ever more important: on this respect, the quantification of the availability of water deriving from snow melt is particularly interesting. The snow, in fact, is like a natural reservoir of water that provides a water contribution with gradual release. Given the importance of snow accumulation in the hydrological cycle, this paper proposes a procedure to estimate the snow water equivalent (SWE) in Trentino based on the physical model SnowMaps (Dall'Amico et al, 2011, 2018). Starting from the meteorological dataset of Autonomous Province of Trento, a reanalysis of snow evolution in Trentino has been realized from the season 2007-2008 to 2017-2018, at 250 m resolution and daily aggregation, reconstructing the variables SWE, snow depth (HS) and new snow accumulation (HN). The results show a general good fit ($R^2 > 0.75$), both in terms of HS and in terms of SWE, with ground measurements and provide also interesting insights on possible errors in the historical measurements. Finally, a statistical analysis of the maps was realized, calculating the percentiles of the snow distribution for each day of the winter and SWE's aggregated values for determined areas and time intervals. This dataset becomes a very useful tool to compare the snow quantification and its water equivalent in a catchment in whatever lapse of the winter with the historical statistics, thus highlighting anomalies and anticipating possible drought conditions. This operating procedure could become a good indicator of local climate change and a practical support for water resource management.

L'attenzione sui cambiamenti climatici è sempre più alta e sui media nazionali gli eventi meteorologici estremi si contendono il ruolo da protagonista con quelli di prolungata ed insistente siccità. La consapevolezza di un cambiamento climatico in atto obbliga l'Amministrazione Pubblica a munirsi di strumenti per prevedere gli effetti sul territorio e cercare di gestirli.

In quest'ottica, nella gestione degli eventi siccitosi, diventa sempre più importante la conoscenza della potenziale disponibilità temporale e spaziale della risorsa idrica derivante dalla fusione nivale. La neve svolge infatti l'importantissimo ruolo di serbatoio naturale di risorsa idrica che permette di fornire un apporto integrativo d'acqua a rilascio graduale.

Vista allora l'importanza degli accumuli nevosi all'interno del ciclo idrologico lo studio qui presentato ha definito una procedura di stima dell'acqua contenuta nel manto nevoso trentino allo scopo di ricostruire l'andamento storico dei valori di equivalente in acqua della neve (SWE) per aree ed intervalli temporali stabiliti. Questa procedura operativa potrebbe diventare un buon indicatore per indagini di tipo climatico e un utile supporto per la gestione e la pianificazione degli utilizzi della risorsa idrica.



PREMESSE

Il problema della siccità in Trentino negli ultimi decenni si è presentato più volte se non in modo diretto, in modo indiretto, per la richiesta da parte delle autorità nazionali dei bacini idrografici in cui ricadono i fiumi e torrenti trentini di una gestione coordinata delle riserve idriche, anche nivali, disponibili presso gli invasi artificiali per far fronte a bilanci idrici complessivamente negativi. Da qui la necessità di studiare l'equivalente in acqua della neve (SWE) e la variazione dell'andamento stagionale dello stesso negli anni.

Di norma la valutazione dell'equivalente in acqua della neve (SWE- Snow Water Equivalent) avviene attraverso l'analisi del manto nevoso eseguendo profili penetrometrici e stratigrafici in campo su alcuni punti campione. Questo metodo, sicuramente molto efficace per una determinazione puntuale, mostra forti limitazioni qualora si voglia estrapolare il dato su un bacino idrografico di ampia scala dove, per ragioni meteorologiche e morfologiche del territorio, si può avere grande variabilità. Per questo motivo può essere opportuno rifarsi a modelli di calcolo che, attraverso una distribuzione statistica nello spazio delle forzanti meteorologiche e una conservazione della massa e dell'energia, siano in grado di ricostruire l'evoluzione del manto nevoso e il relativo equivalente in acqua anche su aree estese.

A tale scopo tramite il software

SnowMaps[1] della ditta MobyGis S.r.l. sono state prodotte le mappe giornaliere dei quantitativi di neve fresca (HN), di neve al suolo (HS) e del suo equivalente in acqua (SWE) dal novembre 2007 al maggio 2018.

LE MAPPE DI SNOWMAPS

SnowMaps è un sistema di modellazione della neve basato sul modello open source GEOTop[2] che attraverso un approccio fisico tipico dei modelli idrologici calcola l'evoluzione della neve sfruttando le leggi di conservazione della massa e dell'energia.

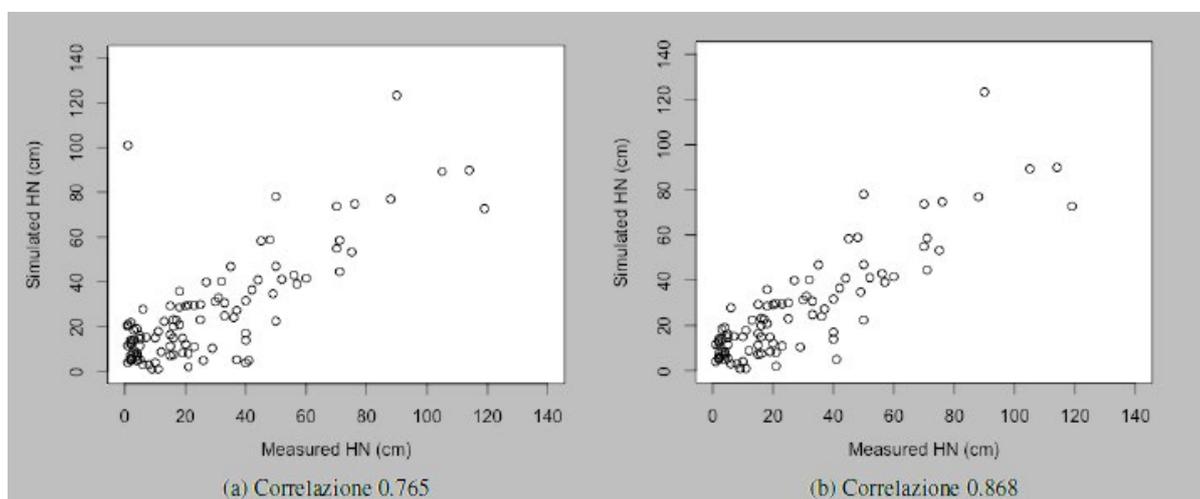
Il modello è stato utilizzato sui dati forniti dalla rete meteorologica automatica e di osservazione nivologica della Provincia autonoma di Trento (PAT) con l'aggiunta delle stazioni automatiche vicine al confine delle regioni e province limitrofe. I numeri complessivi delle stazioni utilizzate variano da 124 nella prima stagione di simulazione (2007/2008) a 227 durante la stagione 2016/2017. I parametri utilizzati sono temperatura, radiazione onda corta, pressione atmosferica, umidità, pioggia, altezza neve al suolo e fresca sulle 24 ore, velocità del vento e sua direzione. Inoltre dal modello digitale di elevazione del terreno (DEM) con risoluzione a 10 m della PAT sono state determinate e utilizzate le mappe morfologiche di elevazione, esposizione, pendenza e fattore di vista cielo per governare il bilancio energetico nella singola cella di calcolo sulla base della

ricostruzione astronomica della posizione del sole.

Il territorio indagato è quello amministrativo della Provincia autonoma di Trento allargato ai bacini idrografici secondari afferenti al reticolo idrografico del territorio provinciale. La griglia di calcolo usata è di 250 m mentre i postulati assunti sono che sotto i 0 °C la precipitazione è solida e sopra i 2°C è liquida. Tra 0 e 2°C la precipitazione viene suddivisa tra neve e pioggia in funzione lineare della temperatura.

Il controllo di coerenza dei risultati in sede di produzione è stato condotto con varie modalità. Una in particolare è consistita nel confrontare in 4 campi neve attrezzati anche con nivometri (Passo Rolle, Passo Tonale, Passo Sommo e Malga Bissina) l'osservazione di neve fresca accumulata su una tavoletta nelle 24 ore con la cumulata delle differenze orarie dell'altezza della neve al suolo di HS filtrato. Gli esiti sono stati positivi con indice di correlazione superiore a 0.75 anche se sono state evidenziate coppie di punti fuori range imputabili ad errori nei dati di osservazione o di anomalie del sensore nivometrico ad ultrasuoni. Con l'aiuto dei rendiconti stagionali pubblicati sul sito ufficiale di Meteotrentino e l'analisi di tutti gli eventi meteorologici sono state corrette alla fonte le situazioni anomale ed estromesse dall'analisi le coppie errate ottenendo indici di correlazione superiori a 0.84 (Figura 1). Il controllo finale dei prodotti da parte del personale di MobyGis si è svolto con una

Fig. 1 - Stazione di Passo Rolle. Confronto tra i valori giornalieri di neve fresca misurata e simulata con il relativo indice di correlazione prima (a) e dopo (b) la sottrazione di 7 coppie di punti considerate errate.



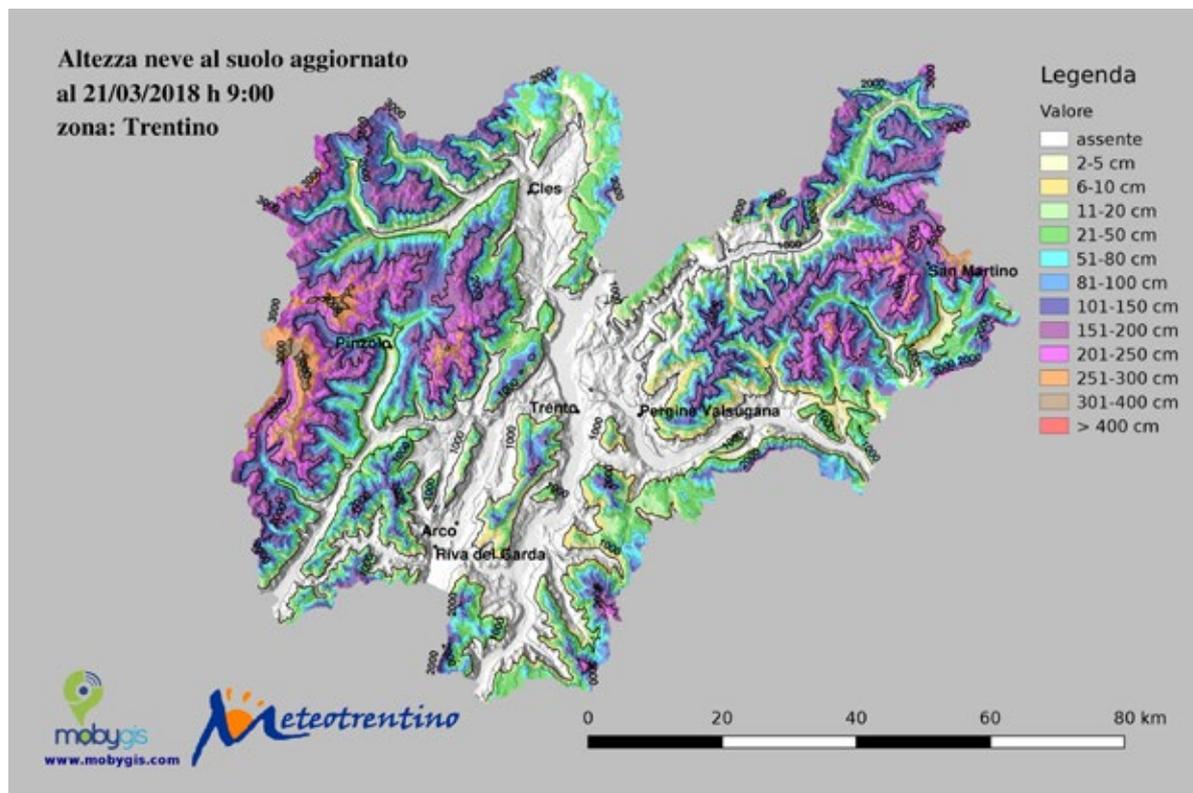


Fig. 2 - Mappa dell'altezza della neve al suolo (HS) del 21 marzo 2018 alle ore 9:00 prodotta con il software SnowMaps

valutazione visiva della sovrapposizione dei grafici delle serie temporali dello spessore della neve al suolo HS prodotto dal modello con quello misurato dai nivometri automatici e dagli osservatori nivologici. In generale il confronto è stato buono, sia durante i momenti di accumulo che di fusione.

Sono state quindi prodotte mappe neve (HS, HN, SWE) in formato geotiff per ogni giorno alle ore 9:00 per 11 anni dal 1° novembre al 1° giugno (Figura 2). Inoltre per 80 punti di osservazione sono stati prodotti i valori di altezza neve al suolo (HS) e di altezza neve fresca sulle 24 ore (HN) sempre alle ore 9:00 per verificare puntualmente la coerenza dei valori simulati con le osservazioni in campo. Per la sola stagione 2017-2018 le tre tipologie di mappe sempre alle ore 9:00 sono state prodotte ogni giorno con tre - quattro ore di ritardo utilizzando dati acquisiti in tempo reale, comprensivi di errori e ritardi nella trasmissione[3]. Per questo motivo e per permettere un equo tempo di calcolo il prodotto giornaliero non poteva essere pronto prima delle ore 12.00. Il funzionamento in tempo reale è stato un ottimo campo di prova per testare le potenzialità operative del si-

stema. Ricordiamo infatti che l'obiettivo è quello di avere uno strumento che permetta il controllo immediato della disponibilità idrica nivale tramite il confronto con situazioni concrete del passato.

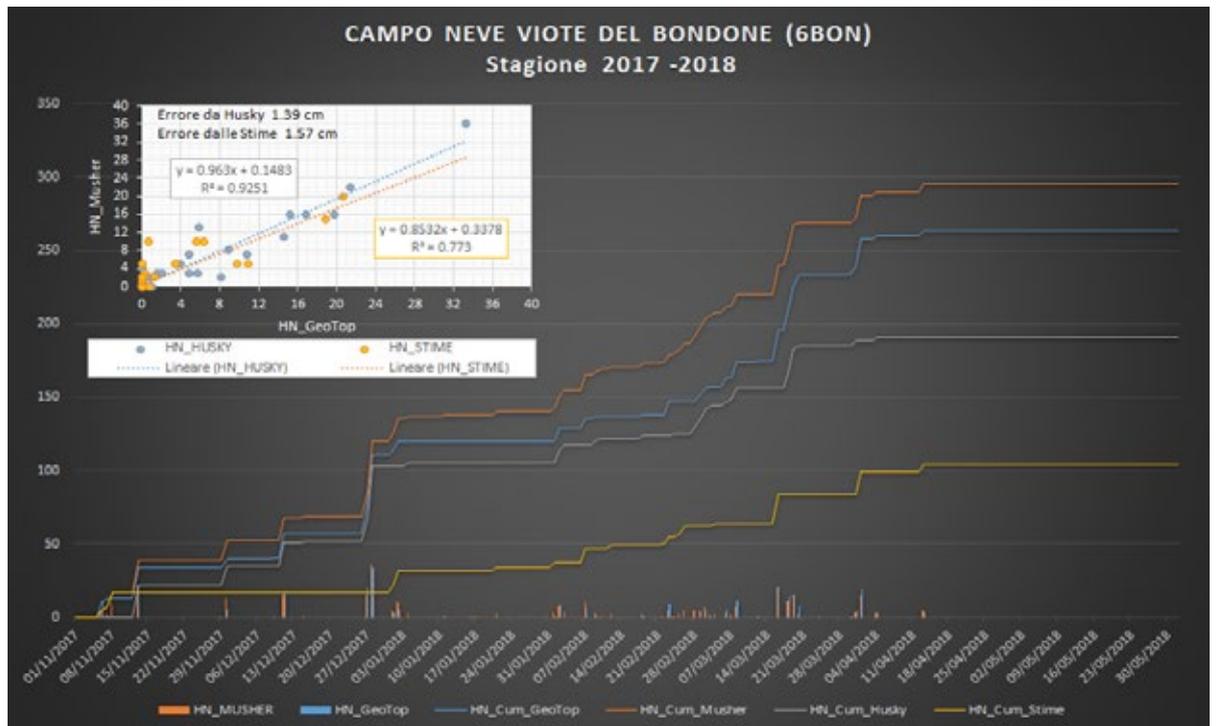
La sperimentazione in tempo reale ha evidenziato la necessità di un continuo confronto tra gli operatori modellistici e il personale della PAT addetto al controllo, al fine di mantenere il flusso della simulazione il più coerente possibile ed evitare derive modellistiche. Tali confronti si rendevano necessari a valle di condizioni meteo critiche (es. accumuli nevosi, rialzi termici) o in presenza di problematiche sui dati provenienti dalla rete di acquisizione. In particolare, durante gli eventi di accumulo, il modello può risentire di incertezze legate alla quota della nevicata e alla copiosità della precipitazione, che possono variare da valle a valle a seconda dei venti e della presenza di inversioni. Anche repentini rialzi termici, tipici del periodo tardo invernale o primaverile, possono creare fusioni localizzate difficilmente riproducibili in modo automatico dal modello di calcolo e per le quali è necessario un controllo a posteriori intersecando le immagini satellitari e le misure in campo.

VALUTAZIONE E VERIFICA DEI PRODOTTI SNOWMAPS

Per valutare la coerenza con la realtà dei prodotti di SnowMaps il settore valanghe di Meteotrentino ha effettuato dei controlli visivi casuali e un controllo sistematico sugli 80 punti di osservazione. Per quanto riguarda l'andamento spaziale dell'innnevamento le mappe riportano una generale coerenza con le caratteristiche topografiche quali quota e ombreggiamento. Le discordanze comunque rilevate hanno permesso di effettuare delle indagini specifiche mediante l'analisi degli eventi nevosi rilevando sia errori di modellazione che errori di archiviazione dei dati osservati. In passato possibili imprecisioni di osservazione venivano archiviati tout court perché l'attenzione sul dato era relegata alla sua capacità di fornire indicazioni sull'imminente pericolo valanghe. Oggi le lunghe serie di dati della rete nivometrica hanno anche un valore idrologico e climatologico che induce gli utilizzatori del dato a effettuare le necessarie correzioni.

Analogamente a quanto fatto in sede di

Fig. 3 - Grafico delle cumulate di neve fresca (HN) al campo neve delle Viote del Bondone (6BON) per la stagione 2017-2018. Sono messe a confronto la cumulata del Database Musher (HN_Cum_Musher - grafo lineare arancione), somma della cumulata delle nevicate osservate (HN_Cum_Husky - grafo lineare grigio) e di quelle stimate (HN_Cum_Stime - grafo lineare giallo), con quella del modello GeoTop (HN_Cum_GeoTop - grafo lineare blu). Sono inoltre riportati a confronto gli istogrammi delle nevicate giornaliere registrate dalla rete di osservazione (HN_Musher) e dal modello (HN_GeoTop). Nel riquadro bianco le rette di confronto con i relativi indici di correlazione tra i dati del modello (HN_GeoTop) e quelli di osservazione (HN_Musher) suddivisi in stime (grafo giallo) e misure (grafo grigio), viene anche riportato l'errore del modello rispetto ad "Husky" (nevicate osservate) e alle "Stime" calcolato come scarto quadratico medio. L'indice di correlazione 0,9 con le osservazioni è molto buono, più scarso quello con le stime (0,7).



produzione sulle quattro stazioni sopra menzionate, per ogni campo neve e ogni stagione si è valutata la correlazione tra i dati SnowMaps e quelli osservati e, dove possibile, anche con le stime di neve fresca (Figura 3). Le stime di neve fresca vengono effettuate dai previsori nivologici sulla base dell'interpretazione dei prodotti di nowcasting meteorologico, della visione complessiva di tutti i dati trasmessi dalla rete automatica e da quella manuale degli osservatori nivologici, dai dati radar, dalle numerose webcam disponibili sul territorio e da metodi sperimentali di crowdsourcing rivolti esclusivamente alla raccolta di dati neve. Le stime di neve fresca non sono state prese in considerazione nella modellazione per due ragioni sostanziali: la prima è che sono disponibili solo per le ultime stagioni in modo sempre più organizzato dal 2012, la seconda è che in questo modo il confronto con i dati del modello può fornire un indicatore di qualità sia per il modello che per le stime stesse. Sui dati esaminati di poco più di una trentina di campi neve attivi durante le 11 stagioni simulate il modello ha individuato mediamente 777 nuove potenziali osservazioni di giornate nevose a stagione e ne ha trascurate 432. Dividendo questi numeri per i 35 campi neve me-

diamente attivi si ottiene rispettivamente 22 giornate nevose non rilevate e 12 non riconosciute dal modello, in sostanza e a grandi linee, una decina di giorni nevosi in più per stagione. Le osservazioni non registrate dalla rete si concentrano sui periodi autunnali e primaverili quando gli impianti sciistici sono chiusi e i campi neve risultano difficilmente accessibili. Considerazioni più sostanziali si possono fare prendendo come nuove nevicate quelle che il modello considera superiori ai 5 cm di neve fresca. Così facendo le potenziali nuove osservazioni scendono a 274 medie per stagione (22% in più) che su 35 campi neve vogliono dire poco meno di otto giorni nevosi. Al contrario il modello ha trascurato mediamente solo l'1,5% delle giornate nevose significative osservate. Lo scarto medio tra i valori di neve fresca simulati coincidenti con quelli rilevati è di 3,6 cm, inferiore alla tolleranza di 5 cm che si tende ad assumere per gli studi nivologici che contemplano le misure nivometriche. Un valore che conforta anche osservandolo nel caso specifico dell'esempio di figura 3, dove nel riquadro bianco l'errore tra modello e osservazioni nel campo neve delle Viote del Bondone è di soli 1,39 cm e di 1,57 cm con quelli stimati dal nivologo di turno.

LE MAPPE STATISTICHE

Per poter confrontare la disponibilità idrica del manto nevoso con quella del passato è stato pensato uno strumento grafico di immediata consultazione, ossia delle mappe statistiche in grado di indicare la disponibilità idrica in neve sciolta sul territorio rispetto al recente passato. Le mappe giornaliere dal 1° novembre 2007 al 1° giugno 2017 delle tre variabili nivologiche esaminate (HS, HN e SWE) sono state rielaborate tramite media mobile per determinare una condizione mediamente rappresentativa di uno specifico giorno, smussando di fatto l'effetto di eventi di accumulo nevoso. La media mobile è stata centrata su una finestra temporale di 7 giorni. Dalle mappe mediate disponibili per ogni giorno del periodo di calcolo sono state create sempre per ogni singolo giorno sette mappe delle statistiche che indicano per ogni cella di calcolo il valore del 20°, 40°, 60°, 80° percentile, il minimo (0° percentile), la media e il massimo (100° percentile) in dieci anni delle tre variabili esaminate. Con le sei mappe dei percentili è possibile poi riclassificare la mappa di ogni singolo giorno per comprendere se localmente i quantitativi di neve in termini di neve

Nella pagina a fianco, dall'alto: fig. 4 - Mappa statistica dell'indice SWE alla data del 31.12.2017. Risulta evidente la scarsa disponibilità idrica derivante dall'innnevamento al suolo nelle regioni occidentali dell'Adamello - Presanella e del Cevedale rispetto agli ultimi dieci anni.

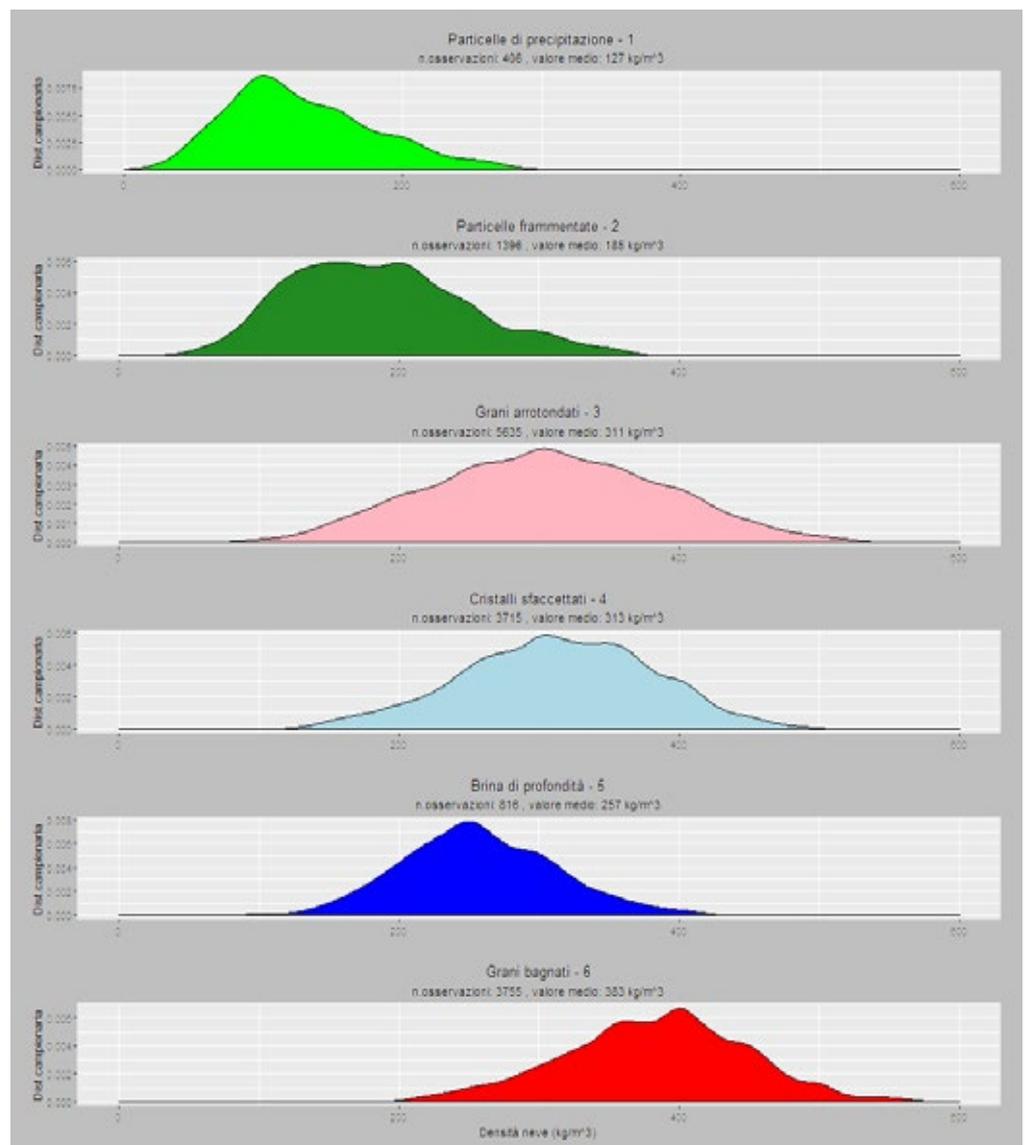
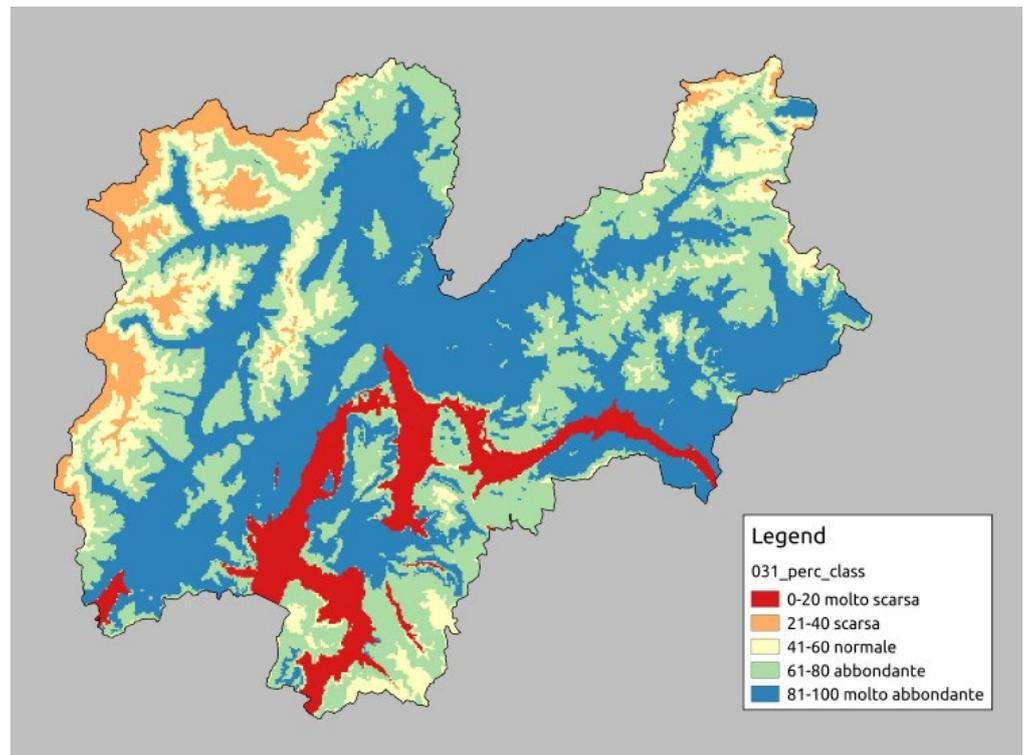
Fig. 5 - Distribuzione statistica della densità [kg/m3] per le varie tipologie di grano di neve emersa dal campione estratto ed esaminato dalle rilevazioni trentine disponibili dagli anni '80. La colorazione dei grafici si differenzia per tipologia di cristallo secondo la convenzione adottata dalla IACS - International Association of Cryospheric Sciences [5].

al suolo (HS) o di equivalente in acqua (SWE) sono scarsi o abbondanti sulla base dell'appartenenza dello specifico valore ad una delle classi percentili individuate (Figura4). Questo strumento estremamente utile per avere un quadro esplicito della situazione fornisce un'informazione qualitativa.

Potrebbe però essere necessario fare una valutazione quantitativa indicando la disponibilità idrica che mediamente viene accumulata nel manto nevoso su un singolo bacino idrografico in un determinato periodo dell'anno e confrontarla con il relativo valore calcolato in un giorno specifico. Dalle mappe giornaliere di SWE è possibile allora ricavare un valore globale di equivalente in acqua per una determinata zona e un preciso intervallo temporale, dato fondamentale per poter fare successive valutazioni di disponibilità idrica. Per un uso quantitativo dei prodotti Snow Map la stima di SWE richiede necessariamente una validazione al fine di poter dare un peso e una valenza scientifica al dato ricavato. I valori di equivalente in acqua della neve risultanti dal modello sono stati quindi validati attraverso un confronto puntuale con le misure ricavate dai profili stratigrafici effettuati nei campi neve provinciali.

IL VALORE PUNTUALE DI SWE DAI PROFILI STRATIGRAFICI DEL MANTO NEVOSO

Le misure dirette effettuate in montagna consistono in profili stratigrafici e penetrometrici eseguiti secondo lo standard AINEVA. Durante il rilievo stratigrafico, per raggiungere necessariamente una certa rapidità di esecuzione, non sempre vengono pesati ed esaminati tutti gli strati. Conseguentemente per poter determinare lo SWE di un profilo nivometrico è necessario stimare la densità della neve anche degli strati in cui non è stata effettuata la misurazione diretta. A tal fine si sono utilizzati i "valori di densità della neve in funzione della forma dei grani e della durezza sulle Alpi Orientali (Dolomiti)" ottenuti dagli studi di Valt e Cagnati.[4]



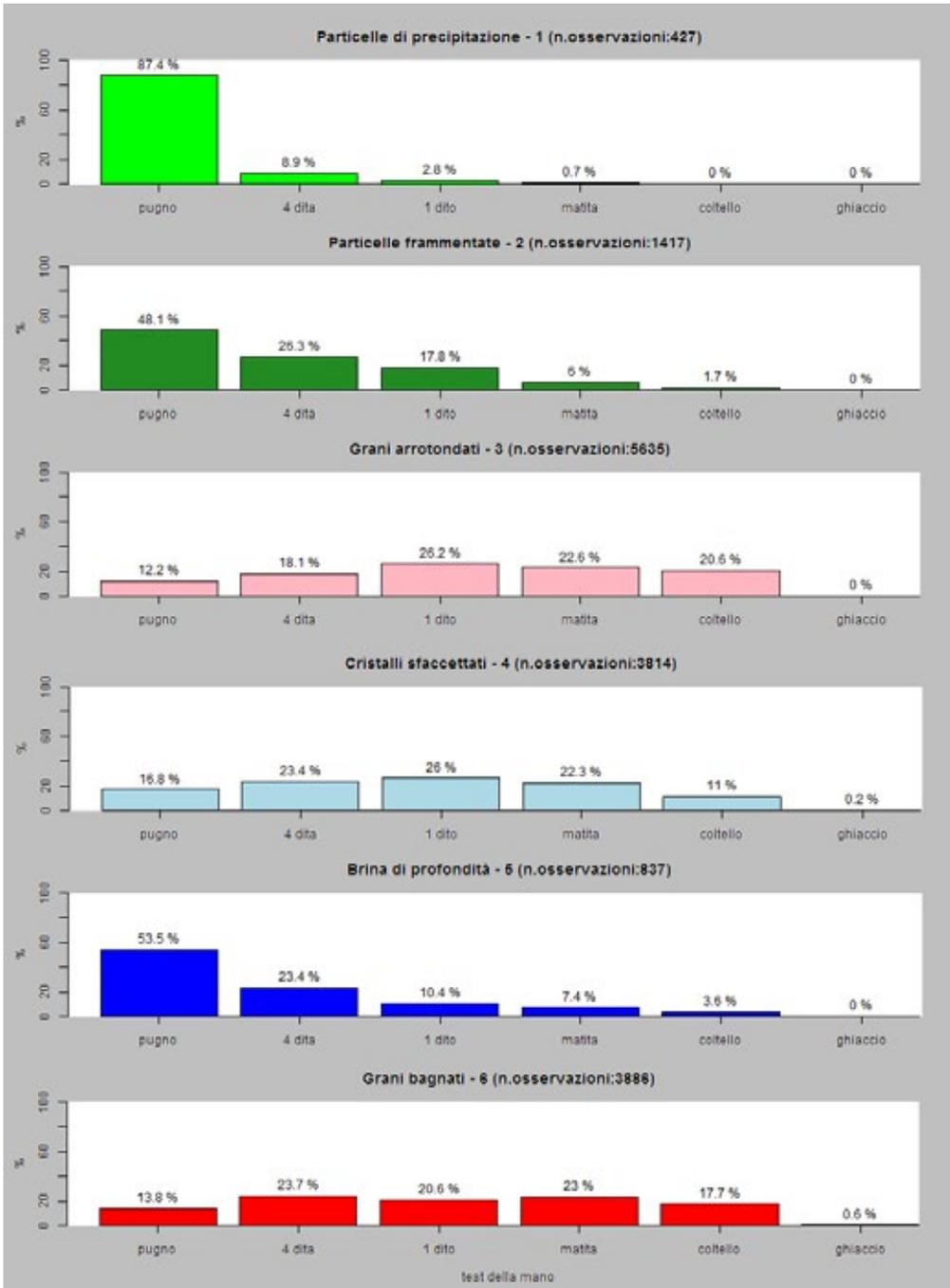
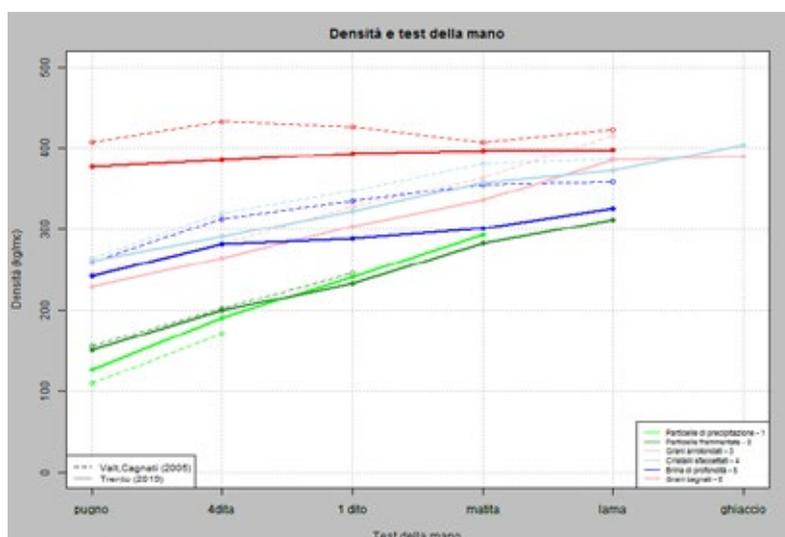


Fig. 6 - Distribuzione statistica in classi di durezza "R" secondo il test della mano [5],[6] per le varie tipologie di grano emersa dal campione estratto ed esaminato dalle rilevazioni trentine disponibili dagli anni '80. La colorazione dei grafici si differenzia per tipologia di cristallo secondo la convenzione adottata dalla IACS - International Association of Cryospheric Sciences [5].



Nel database Husky che raccoglie tutte le osservazioni nivologiche della rete di monitoraggio trentina sono presenti circa 7000 rilievi nivometrici con quasi 46000 strati di neve caratterizzati da una tipologia principale di grano e una specifica dimensione. Di questi strati, a 26200 circa è associato un valore di densità misurato direttamente con strumento carotatore mentre sui rimanenti è necessario assegnarne una utilizzando la tabella suddetta. In via preliminare si è però ritenuto necessario valutare se le densità della neve dei rilievi svolti in Trentino fossero in linea con i risultati di Valt e Cagnati. Si è realizzata quindi una statistica di distribuzione delle densità in funzione della forma dei grani ottenendo degli andamenti simili a quelli già pubblicati (figura 5). L'elaborazione ha escluso in automatico gli outliers (valori minori di [Q1-1.5 IQR] o valori maggiori di [Q3 +1,5 IQR] dove Q1 è il primo quartile, Q3 è il terzo quartile e IQR è la distanza Q3 - Q1) considerati errori di rilevazione. In figura 6 sono riportati i risultati statistici della distribuzione delle classi di osservazione del test della mano diversificate per tipologia di cristalli. Confrontando i risultati ottenuti con i valori pubblicati si nota una differenza che mediamente è stata stimata in circa il 7% (figura 7). In generale le densità trovate sono state inferiori a quelle pubblicate, tranne che per le particelle di precipitazione (tipo 1) risultate mediamente superiori. Per capire meglio la causa delle differenze riscontrate (geografica, metodologica o procedurale) saranno necessari successivi approfondimenti ma per lo studio in essere tali differenze non sono state ritenute significative e sono stati pertanto utilizzati i valori pubblicati da Valt e Cagnati[4] per la stima della densità degli strati non pesati.

IL CONFRONTO TRA VALORE SWE MISURATO E QUELLO DA MODELLO

Definito il metodo per determinare il valore puntuale di SWE del manto nevoso si è passati al confronto puntuale con il dato estratto dalle mappe ad aggregazione

giornaliera mediante script Python in ambiente GIS GRASS. Dei 64 campi neve provinciali censiti nel 2017 ne sono stati selezionati 35 (Figura 8), per abbondanza e accuratezza delle misure disponibili. Le misure utilizzate per la validazione del modello fanno riferimento al periodo che va da dicembre 2007 ad aprile 2018.

Dall'attività di confronto tra i valori di SWE misurato e simulato è emerso che per una buona parte dei punti di controllo esaminati il modello SnowMaps simula con sufficiente approssimazione il valore misurato dell'equivalente in acqua della neve SWE nei campi neve, sia in termini qualitativi (come andamento nel tempo), sia in termini quantitativi (come valore) (Figura 9). La variabilità dei risultati a scala locale comporta però necessariamente una certa accortezza nel trattare il dato fornito dal modello, si è visto infatti che in alcuni casi il valore simulato può allontanarsi di parecchi punti percentuali dal valore misurato. Il prodotto finale va quindi interpretato con spirito critico ed utilizzato con cautela.

Va detto in ogni caso che possibili divergenze tra i valori sono sicuramente da imputare all'incertezza, all'indeterminatezza e alla grande variabilità delle forzanti meteorologiche utilizzate come input nel modello numerico di simulazione. Il modello non considera il trasporto eolico ma solamente i processi fisici di apporto nevoso da nevicata, compattazione e fusione su celle di calcolo di 250 m di lato che non permettono di rilevare effetti morfologici locali. In più va tenuto conto che, soprattutto in primavera ed in autunno, la nevicata è intervallata o accompagnata da pioggia, caratteristica questa difficilmente replicabile e simulabile in maniera fedele dal modello.

LE POTENZIALI DISPONIBILITÀ D'ACQUA DA FUSIONE SUL TERRITORIO

Conclusa la fase di analisi e validazione del modello di simulazione si sono estratti dalle mappe i dati aggregati di SWE per bacini idrografici provinciali di primo livello

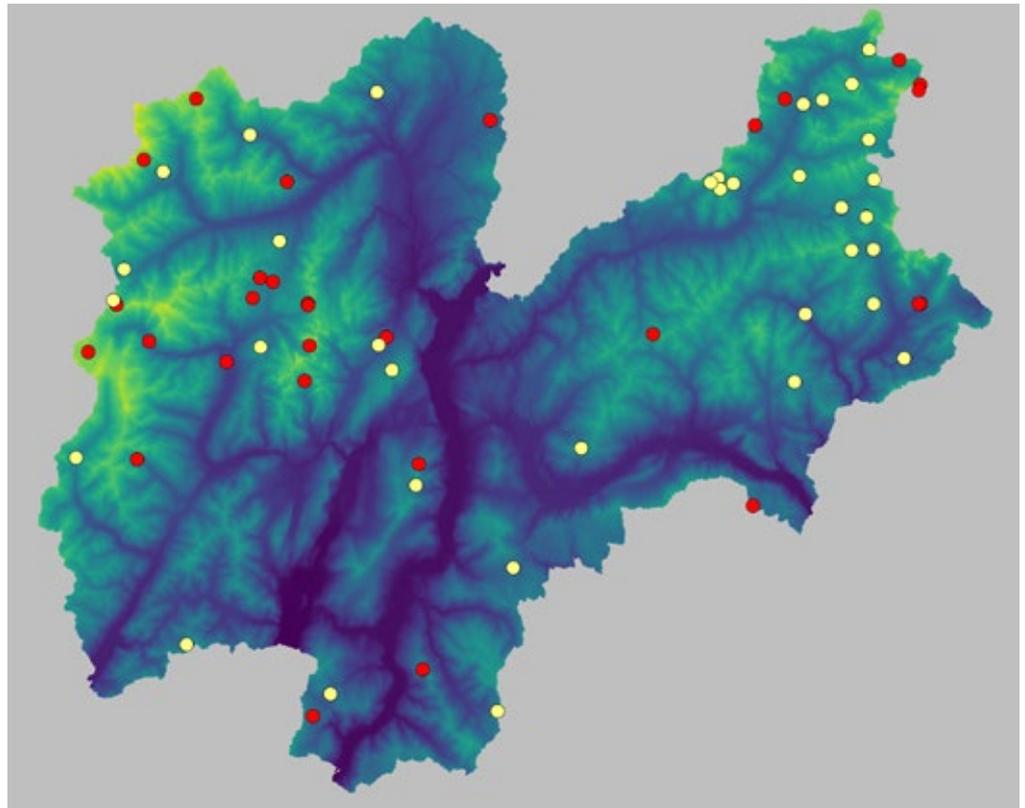


Fig. 8 - Mappa della localizzazione dei campi neve provinciali; in giallo sono segnati i campi utilizzati per confrontare i valori di SWE ricavati dai rilievi con quelli ottenuti dal modello GeoTop.

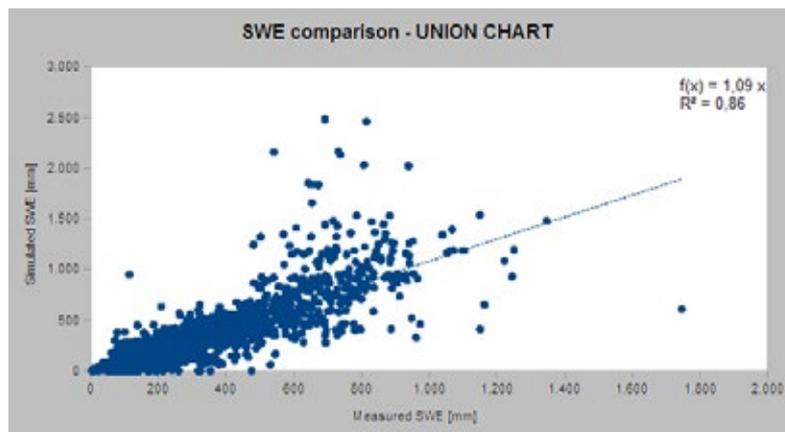


Fig. 9 - Grafico a dispersione di confronto tra dato misurato e simulato di SWE su tutti i campioni disponibili.

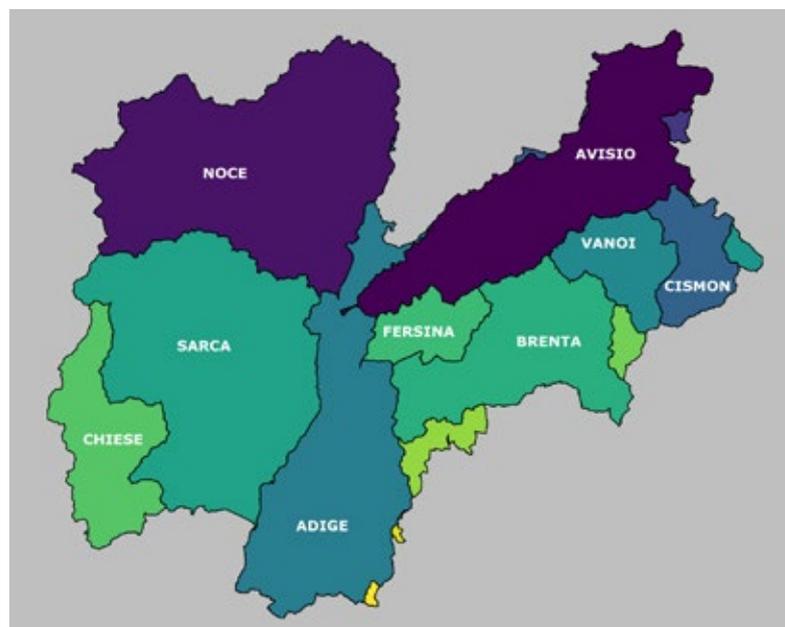


Fig. 10 - Mappa dei bacini idrografici provinciali di primo livello utilizzati per ricavare le statistiche aggregate per area del parametro SWE.

Nella pagina a fianco, in basso: fig. 7 - Confronto tra i dati pubblicati per le aree dolomitiche [4] e quelli ottenuti dall'analisi delle rilevazioni trentine disponibili dagli anni '80 della densità della neve in funzione di durezza (test della mano) e tipologia del grano.

NEVE

Fig. 11 - Grafico del valore medio decennale del parametro SWE [mm] per tutto il territorio provinciale nel periodo esaminato da novembre 2007 – maggio 2018.

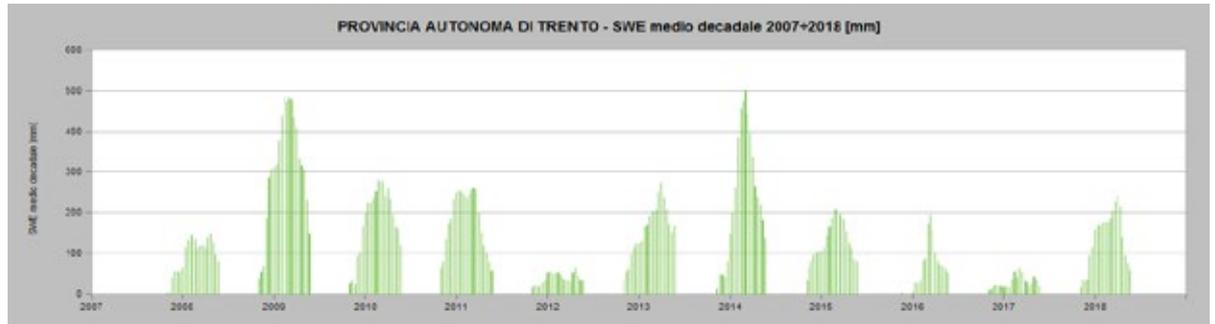


Fig. 12 - Grafico del valore medio decennale del parametro SWE [Mm³] per tutto il territorio provinciale nel periodo esaminato da novembre 2007 – maggio 2018.

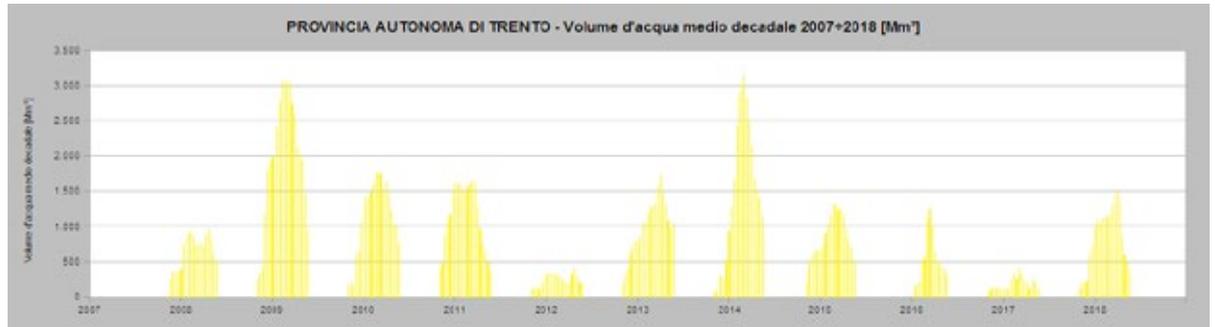


Fig. 13 - Grafico del valore di equivalente in acqua SWE mediato sulla prima decade di marzo per il bacino dell'Avisio in millimetri sull'asse delle ordinate di sinistra e in volume d'acqua [Mm³] sull'asse di destra per il periodo che va dalla stagione 2007-08 alla stagione 2017-18. Nel grafico è rappresentata anche la retta della media dei valori annuali per il campione considerato.



(Figura10) a intervalli temporali stabiliti. Si è quindi immaginato che la potenziale riserva idrica contenuta nella neve possa teoricamente arrivare alla sezione di chiusura del bacino come risorsa primaria disponibile, tralasciando ipoteticamente tempi e lunghezze di percorrenza, fenomeni di evapotraspirazione e di infiltrazione dell'acqua. Anche per il calcolo del dato giornaliero complessivo di equivalente in acqua della neve per singolo bacino idrografico è stato realizzato uno specifico codice in PyGRASS. Attraverso una sovrapposizione delle mappe SWE di SnowMaps con quelle dei bacini di primo livello questo codice estrae il dato globale di equivalente in acqua per bacino come somma dei valori puntuali di SWE assegnati a ciascuna cella della griglia di calcolo. Il dato complessivo così stimato è stato successivamente elab-

borato dal programma in modo da fornire il valore medio puntuale di SWE per bacino in mm di acqua equivalente. Dal dato medio puntuale di SWE, conoscendo la superficie di ciascun bacino, è stato poi ricavato il corrispondente valore medio di volume d'acqua, misurato in Mm³. Entrambe le grandezze sono state calcolate per singolo bacino idrografico di primo livello e per l'intero territorio provinciale, con cadenza temporale giornaliera e decennale. Per una visione di insieme della variazione temporale delle grandezze ricavate nel periodo d'indagine e per tutto il territorio provinciale sono stati riportati i grafici di figura 11 e 12 dai quali si può dedurre come mediamente i valori massimi accumulati di acqua nella neve al suolo ogni stagione rappresentino circa un quinto della risorsa idrica pluviale che cade annualmente sul Trentino e che negli

anni più abbondanti come il 2009 e il 2014 si arriva anche alla metà della disponibilità pluviale media annua.

Per ogni bacino idrografico il valore medio di equivalente in acqua è stato confrontato con l'analogo storico degli anni precedenti al fine di evidenziare l'andamento negli anni delle potenziali scorte idriche contenute nella neve. Lo studio e l'interpretazione di questi dati ha quindi permesso di generare una serie di grafici di confronto che mostrano l'andamento negli anni del dato medio puntuale di SWE [mm] e del corrispondente volume d'acqua [Mm³] per ogni decade e per tutti i bacini esaminati (figura 13), a titolo esemplificativo nonché per tutto il territorio provinciale. Sugli stessi grafici è stata rappresentata anche la retta della media dei valori annuali per il campione considerato (periodo 2007÷2018).

I valori statistici descritti di tutte le decadi del periodo esaminato, per ogni bacino e per l'intera provincia trentina sono poi stati raccolti in grafici riassuntivi con rappresentato il valore medio, massimo e minimo (figura 14 e 15)

CONCLUSIONI

Le mappe giornaliere di innevamento prodotto rappresentano un utile strumento di governo anche se devono essere utilizzate con senso critico per i limiti evidenziati dal

modello e per la natura e qualità dei dati d'ingresso. Inoltre la classificazione delle mappe giornaliere di altezza della neve al suolo e del suo equivalente in acqua in classi percentili da scarsa ad abbondante permette di avere una visione immediata della situazione delle riserve idriche da innevamento.

Da un punto di vista quantitativo lo studio effettuato e la successiva interpretazione dei dati presentati in semplici grafici di sintesi ha permesso di evidenziare le potenziali disponibilità d'acqua per ogni bacino idrografico mostrandone l'andamento negli anni presi in esame. Per comprendere le quantità in gioco e il ruolo fondamentale svolto dagli accumuli nevosi all'interno del ciclo idrologico si pensi che le riserve idriche contenute nella neve in alcuni periodi dell'anno assumono lo stesso ordine di grandezza della capacità complessiva degli invasi provinciali. La riserva idrica nevosa rappresenta quindi una fondamentale risorsa per far fronte alle esigenze idriche civili ed agricole nei periodi siccitosi.

Già dal breve arco temporale esaminato si è potuto constatare un'estrema variabilità delle riserve nivali stagionali con una continua alternanza tra trend negativi e positivi. Si è riscontrato che il massimo di SWE si realizza generalmente durante le prime due decadi di marzo. Negli ultimi anni analizzati si sono ottenuti valori di

SWE più bassi rispetto ai dati medi, dovuti a un ritardo delle nevicate nelle decadi di novembre e dicembre e a una fusione più rapida della neve accumulata nel mese di maggio, a causa di un tendenziale aumento delle temperature.

Il metodo sviluppato mette in evidenza interessanti potenziali e risvolti pratici purché si investa maggiormente sulla qualità dei dati raccolti eliminando le ambiguità riscontrate. Si deve quindi incentivare una raccolta più accurata del dato nivometrico mirando anche alla gestione della risorsa idrica e ampliando il periodo di monitoraggio ai primi mesi autunnali e a quelli tardo primaverili. Anche il metodo di determinazione dello SWE dai profili stratigrafici dovrà essere migliorato con ulteriori analisi volte anche alla valutazione della accuratezza e precisione dei rilievi. In questo modo sarà più semplice governare i risultati del sistema SnowMaps individuando e correggendone le ambiguità. Per un uso del sistema in tempo reale si dovranno investire ulteriori risorse per effettuare validazioni dei dati in ingresso, altrimenti è altamente probabile che i risultati debbano essere riprocessati a fine stagione per conferirgli attendibilità.

A scala di bacino idrografico di primo livello il modello nel complesso ha dato buoni risultati evidenziando la capacità di mediare gli errori. Sicuramente i prodotti realizzati

rappresentano un utile strumento per la gestione della risorsa idrica in campo agricolo e civile che permettono di paragonare la situazione stagionale odierna con quelle del passato.

La Provincia autonoma di Trento ha quindi investito nuove risorse per estendere ulteriormente nel passato il periodo di analisi e costruire un campione di dati più significativo. Una finestra temporale di analisi più lunga potrebbe mettere in evidenza possibili effetti dei cambiamenti climatici a scala locale ed eventuali trend significativi e dare quindi importanti informazioni per una corretta pianificazione della gestione della risorsa idrica.

Bibliografia

- [1] Dall'Amico M., Cagnati A., Crepaz A., Endrizzi S., Zambon F. (2014). Snowmaps: realizzazione di mappe di innevamento a supporto della previsione valanghe. *Neve e Valanghe*, 83, 20-27. Consultabile su: http://www.aineva.it/wp-content/uploads/2017/11/nv83_3.pdf
- [2] Endrizzi S., Gruber S., Dall'Amico M. and Rigon R. (2014), GEOtop 2.0: simulating the combined energy and water balance at and below the land surface accounting for soil freezing, snow cover and terrain effects, *Geosci. Model Dev.*, 7, 2831-2857.
- [3] Dall'Amico M., Endrizzi S., Tasin S. (2018) MYSNOWMAPS: OPERATIVE HIGH-RESOLUTION REAL-TIME SNOW MAPPING International Snow Science Workshop, Innsbruck, Austria, 2018.
- [4] Valt M., Cagnati A. (2005). Stima della densità della neve conoscendo la forma dei grani e la durezza. *Neve e Valanghe*, 55, 40-45 (Tabella Fig.7).
- [5] IACS UNESCO (Paris, 2009) The International Classification for Seasonal Snow on the Ground. IHP-VII Technical Documents in Hydrology N°83
- [6] Cagnati A. 2003 Sistemi di Misura e metodi di osservazione nivometrici. AINEVA, Trento, 186 pp.

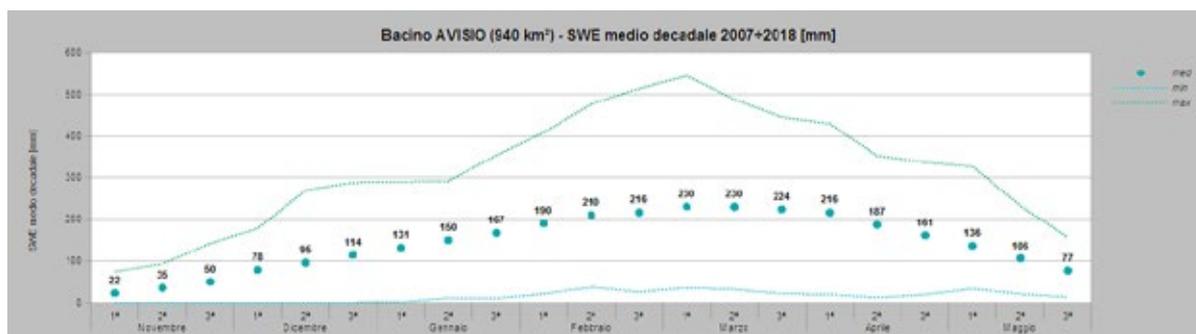


Fig. 14 - Grafico del valore in millimetri di equivalente in acqua SWE medio decadale per il bacino dell'Avisio per il periodo che va dalla stagione 2007- 08 alla stagione 2017- 18. A pallini blu il minimo riscontrato per decade e a pallini verdi il massimo.

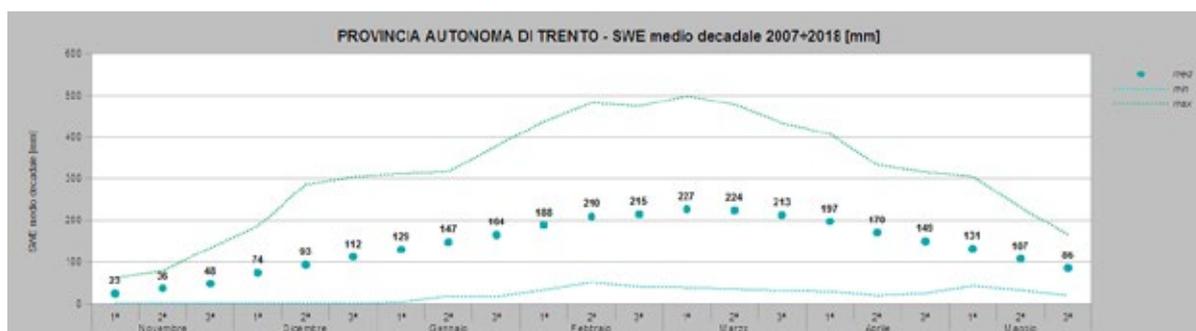


Fig. 15 - Grafico del valore in millimetri di equivalente in acqua SWE medio decadale per tutta la Provincia per il periodo che va dalla stagione 2007- 08 alla stagione 2017- 18. A pallini blu il minimo riscontrato per decade e a pallini verdi il massimo.





VALANGHE

- ▾ 2 **Albina**
La nuova previsione del pericolo valanghe per la Regione Europea Trentino-Alto Adige-Tirolo
- ▾ 8 **Tempesta Vaia**
Individuazione delle aree da valanga con le immagini Sentinel-2
- ▾ 20 **Valanghe da slittamento**
Affrontare le bocche di balena?
- ▾ 26 **Eventi valanghivi storici a Valdisotto**
Dalle cronache dei giornali
- ▾ 30 **La valanga di Aviel del 1888**
La memoria storica recuperata

La nuova previsione del pericolo valanghe

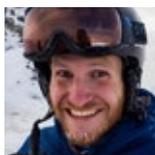
ALBINA

per la Regione Europea Trentino-Alto Adige-Tirolo



Christoph Mitterer

Christoph Mitterer è ricercatore nell'ambito neve e valanghe nonché coordinatore scientifico del progetto ALBINA. Collaboratore del servizio prevenzione valanghe del Tirolo. Ama la polvere, il firm e la neve bagnata. Però la sua attività prediletta è filosofeggiare riguardo alla previsione valanghe e i pericoli connessi.



Norbert Lanzausto

Norbert Lanzausto è un informatico, meteorologo in divenire e coordinatore tecnico del progetto ALBINA. Collaboratore del servizio prevenzione valanghe del Tirolo. Per le uscite di scialpinismo lascia però il portatile a casa.



Alex Boninsegna

Alex Boninsegna ha studiato scienze forestali e ambientali all'università di Padova. Appassionato alpinista si è avvicinato al progetto ALBINA e alla tematica della previsione del pericolo valanghe. Ha sede di lavoro presso il servizio prevenzione valanghe dell'Alto Adige.

Nelle Alpi, circa 29 centri di prevenzione valanghe valutano regolarmente il pericolo valanghe regionale per la loro area e informano il pubblico attraverso appositi bollettini. Tuttavia, se ad esempio i ricreativi tirolesi desiderano praticare il freeride o sci alpinismo nel versante sud delle Alpi, spesso incontrano un problema linguistico e incoerenza nella comunicazione del pericolo: (1) le diverse dimensioni delle micro-aree, (2) le differenze linguistiche e culturali, (3) i vincoli operativi nella produzione e distribuzione del bollettino valanghe e (4) le diverse interpretazioni dei gradi di pericolo valanghe. Questo ha portato tre centri di previsione confinanti, il Tirolo, l'Alto Adige e il Trentino, ad unirsi con l'obiettivo principale di sviluppare e implementare un quadro concettuale in linea con gli standard e le migliori pratiche dei Servizi Europei di Previsione Valanghe (EAWS). Presentiamo questo approccio generalmente valido per collegare i vari centri di previsione valanghe senza compromettere la loro sovranità territoriale. A partire dalla stagione invernale 2018-2019 Tirolo, Alto Adige e Trentino utilizzano operativamente il quadro presentato, accessibile sotto il sito valanghe.report, aumentando così la coerenza dei prodotti previsionali e il valore per gli utenti.

ALBINA - a new avalanche forecasting system for the Euregio Tirol - South Tyrol - Trentino

About 29 forecasting centres in the European Alps assess the regional avalanche danger for their area on a regular basis and inform the public through regional avalanche bulletins. However, if for example Tyrolean recreationists would like to enjoy backcountry skiing on the southern side of the main divide, they often encounter a linguistic or consistency problems when considering avalanche danger communication: (1) varying size of the warning regions, (2) differences in language and culture, (3) operational constraints in the production and distribution of the avalanche danger bulletin and (4) different interpretations of the avalanche danger levels. In order to foster the efforts in harmonising warning production and communication, three forecasting centres within the European Avalanche Warning Services (EAWS), namely Tirol South Tyrol and Trentino, teamed up with the main goal to develop and implement a conceptual framework in line with EAWS standards and best practice.

We will present this generally valid approach for connecting various avalanche forecasting centres without undermining their territorial sovereignty. Since the winter season 2018-2019 Tirol, South Tyrol and Trentino operationally use the presented framework accessible under avalanche.report and hence increase the consistency of forecasting products and the value for the users.



VALANGHE

Ci troviamo da qualche parte in Trentino, siamo in pieno inverno, venerdì sera. L'ultima nevicata è ormai lontana e la settimana passata è stata caratterizzata da vento e da tempo instabile. Ora però è alle porte un weekend di sole e per noi questo significa solo una cosa: scialpinismo.

Tuttavia, la neve non gioca a nostro favore: dalle croste da rigelo, ai lastroni ventati fino al duro ghiaccio messo a nudo, c'è di tutto, tranne quello che desidera il cuore dello scialpinista. Una ricerca online ci fa però presto capire dove si nasconde la polvere da noi tanto bramata: oltre confine, più precisamente nel Tirolo, nelle Alpi dello Stubai.

Fare qualche chilometro in più per alimentare la nostra passione non ci spaventa, ma prima di programmare il tracciato, meglio consultare il bollettino valanghe della zona, sicurezza prima di tutto! Raggiungiamo il bollettino tramite il portale www.avalanches.org e... restiamo interdetti di fronte a un testo tutto in tedesco.

L'esempio qui sopra illustra una situazione nota a gran parte degli scialpinisti. La passione per la neve non conosce confini e grazie anche alle nuove tecnologie per i praticanti di sport invernali del Trentino, Alto Adige e Tirolo è sempre più facile muoversi all'interno della Regione Eu-

ropea Euregio. Già da anni la cresta di confine non rappresenta un ostacolo per chi pratica sport invernali, si fa guidare dalle previsioni di neve fresca e anche dalla prospettiva di provare le pietanze tipiche da accompagnare con un buon bicchiere di vino o una birra.

Però ogni buona gita scialpinistica richiede un'adeguata pianificazione dell'itinerario, che può avvenire solo consultando i bollettini di previsione valanghe dei servizi regionali. Proprio questo ha rappresentato per molti un ostacolo non da poco. Infatti, fino ad ora bisognava andare a cercare le informazioni relative alla situazione valanghiva sulle pagine dei singoli servizi, trovandosi spesso di fronte a delle barriere linguistiche non trascurabili.

Da questa premessa è nata l'idea di collaborazione tra i servizi di prevenzione valanghe del Trentino, Alto Adige e Tirolo allo scopo di creare, nell'ambito di un progetto Euregio, il primo bollettino valanghe giornaliero, transfrontaliero e multilingue. Perché proprio come la buona neve e il meteo, anche il pericolo valanghe non conosce confini politici o amministrativi. Lo scopo principale era evidente: un unico bollettino previsionale del pericolo valanghe multilingue e giornaliero per tutta la regione dell'Euregio. Nei seguenti paragrafi

abbiamo il piacere di raccontarvi come è andato il progetto e di presentarvi i nostri risultati.

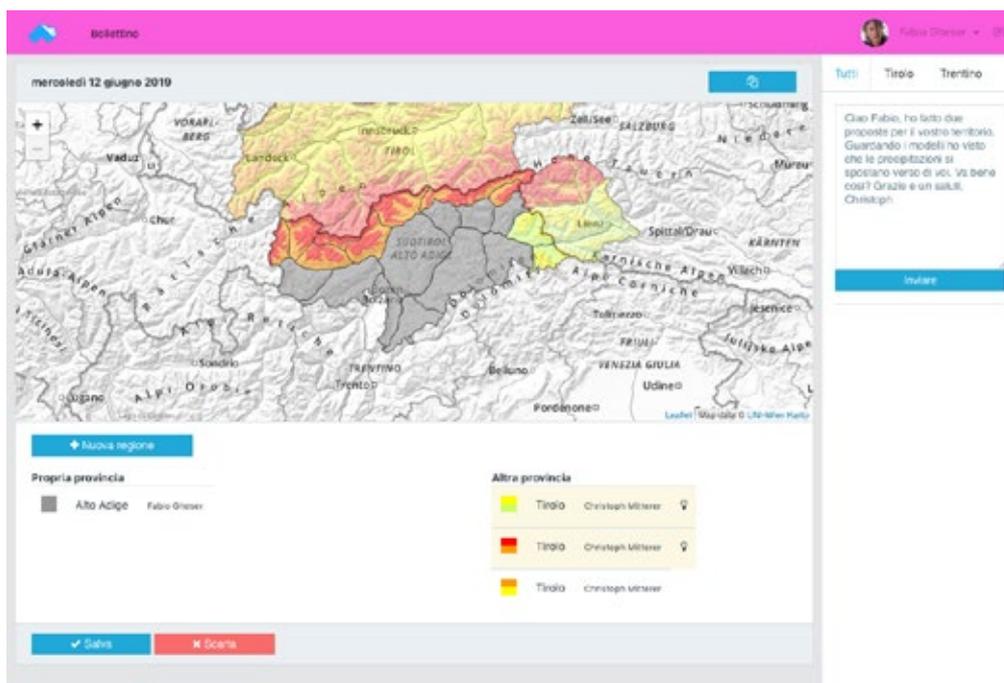
COLLABORAZIONE PER IL VALANGHE. REPORT

Alla base di tutto ci sono i previsori dei tre servizi valanghe e i processi che permettono loro di raccogliere le informazioni necessarie per fare una previsione del pericolo valanghe. Era quindi necessario far collaborare tre servizi di prevenzione valanghe, tre Province, due Stati e dieci previsori per la realizzazione di un prodotto comune.

È stata realizzata una nuova applicazione software atta a garantire una buona collaborazione che permette ai previsori di fare la loro valutazione del pericolo valanghe in maniera congiunta, scambiarsi opinioni e darsi consigli a vicenda. Questo nuovo strumento permette di strutturare il processo di valutazione del pericolo valanghe sulla base degli standard dei servizi valanghe europei (EAWS). Similmente al sistema utilizzato in Svizzera, è ora possibile aggregare le microaree, a seconda delle condizioni presenti (Figura 1). Queste nuove aree possono estendersi anche oltre i confini amministrativi, permettendo ai previsori valanghe di dare suggerimenti ai colleghi del servizio confinante. Se, per esempio, un previsore del Trentino ritiene che le condizioni a nord del Passo della Mendola siano simili a quelle a sud, può proporre al collega dell'Alto Adige di unire le zone e adottare la stessa valutazione. È comunque sempre il previsore competente per la zona a decidere se accettare o meno la proposta. Una funzione chat permette inoltre un rapido scambio di opinioni.

Uno degli scogli indicati nel paragrafo introduttivo è legato alle questioni linguistiche. Infatti, nella regione Euregio Tirolo-Alto Adige-Trentino ci sono due lingue ufficiali (italiano e tedesco), senza contare che l'inglese risulta la principale lingua di comunicazione con molti dei turisti presenti sul territorio. Tradurre

Fig. 1 - Screenshot dell'applicativo software per i previsori: sulla cartina possono essere aggregate le varie microaree dove il pericolo valanghe risulta uguale. Sulla destra si vede la funzione chat, mentre le icone con la lampadina rappresentano la proposta fatta da un previsore per il collega del territorio confinante.



il bollettino in 3 lingue non solo esula dalla competenza dei previsori, ma richiederebbe un impegno di tempo, che durante l'inverno semplicemente non è disponibile. La soluzione a questo problema è stata trovata guardando alla vicina Svizzera e al loro catalogo delle frasi. Il catalogo è composto da oltre 100 frasi, con all'interno di ogni frase la possibilità di scelta multipla per i blocchi che compongono la frase. In pratica il previsore non scrive più il testo del bollettino, ma lo assembla scegliendo con click del mouse le frasi e le voci dei blocchi che le compongono. Il grande vantaggio di questo sistema è che per ogni frase c'è l'equivalente nelle altre lingue. Grazie ad una stretta collaborazione con l'SLF ci è stata data la possibilità di usare il loro catalogo e abbiamo inoltre avuto modo di ampliarlo di alcune frasi, specialmente per descrivere meglio la struttura del manto nevoso. Inoltre, è stato necessario rendere l'italiano una delle lingue di immissione, in quanto inizialmente era previsto solo il tedesco.

A conti fatti, la nuova piattaforma sviluppata durante il progetto, mette nelle mani dei previsori uno strumento che permette loro di fare valutazioni, di scambiarsi opinioni e di comunicare la previsione del pericolo valanghe.

COME SI COSTRUISCE IL VALANGHE. REPORT

Per molti può sembrare un'idea scontata, ma riteniamo importante ribadire che la struttura del nuovo bollettino di previsione valanghe segue uno schema ben preciso: la piramide dell'informazione (figura 2). In questa maniera anche chi si prende poco tempo, ha modo di accedere alle informazioni più importanti in tempi rapidi.

Il principio della piramide dell'informazione è stato adottato a livello europeo, ma viene per la prima volta implementato in maniera pienamente coerente nel nostro bollettino Euregio.

Per esempio: è vero che in Svizzera abbiamo la descrizione della situazione e

del pericolo valanghe suddivisa in regioni aggregabili in maniera dinamica a seconda delle condizioni ma la descrizione della struttura del manto nevoso viene fatta solo a livello generale per tutta la Svizzera.

Un ulteriore esempio: fino a ieri nel bollettino del Tirolo comparivano due problemi valanghivi, tuttavia capire a quali delle 12 subregioni fossero assegnati era possibile solo leggendo il testo, o, nel peggiore dei casi, non era per niente possibile. La descrizione testuale del pericolo valanghe e la descrizione del manto nevoso erano inoltre sempre generali per tutto il Tirolo.

Questi salti all'interno della piramide dell'informazione rappresentano spesso dei compromessi necessari per adattarsi ai sistemi in uso, ma il risultato genera spesso difficoltà al lettore per interpretare in maniera chiara il bollettino.

La sfida era quindi di realizzare un sistema per il nuovo bollettino valanghe del Trentino, Alto Adige e Tirolo, che permettesse di rimanere coerenti con la piramide dell'informazione in tutta la sua interezza. Questo principio, insieme ad altri standard EAWS, ha rappresentato il filo conduttore che ci ha guidato durante il progetto.

VESTI NUOVE PER IL BOLLETTINO VALANGHE

Le figure 3 a-c mostrano brevemente come si è presentato il nuovo valanghe.report nella stagione invernale 2018/2019 in Trentino, Alto Adige e Tirolo. Un design minimalista ma accattivante invita l'utente ad immergersi nel bollettino previsione valanghe dell'Euregio, il quale rappresenta il fulcro della pagina. Infatti, accedendo alla pagina, ci si troverà inizialmente di fronte a una mappa del territorio che mostra i gradi di pericolo vigenti nella zona Euregio, permettendo così all'utente di farsi subito un'idea generale della situazione. La mappa può essere zoomata o trascinata e con un click è possibile selezionare una delle regioni aggregate. In questo modo

VALANGHE

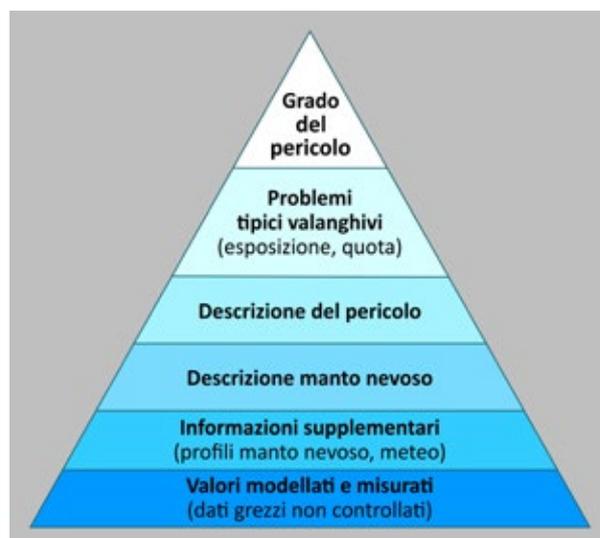


Fig. 2 - Piramide dell'informazione secondo gli standard EAWS e adattata alla struttura del valanghe.report | lawinen.report | avalanche.report.

l'utente può avere una visione più dettagliata riguardo ad una particolare zona, accedendo ad ulteriori informazioni, quali il limite di quota per determinati gradi di pericolo (se presente) e i problemi valanghivi prevalenti per la zona (figura 3 b). Inoltre, con un secondo click, sulla voce "dettagli", o scorrendo la pagina web compaiono maggiori informazioni riguardo la valutazione del grado di pericolo, i problemi valanghivi prevalenti (esposizione e quota) e la tendenza per i prossimi giorni (figura 3 c). La cartina generale con le sue icone fornisce una rapida panoramica della situazione, mentre la descrizione del pericolo e dello stato del manto nevoso sotto forma di testo danno informazioni molto più dettagliate riguardanti la valutazione del pericolo valanghe effettuata. Un link ai bollettini meteo dei relativi servizi meteo del territorio funge da linea di chiusura del bollettino valanghe. Importanti link a informazioni aggiuntive (mappe neve e meteo, stazioni meteorologiche, blog ecc.) invitano però l'utente a trattenersi ed esplorare più in profondità il sito.

Per molti utenti l'orario di pubblicazione e il periodo di validità del bollettino rappresentano una novità: il bollettino con la rispettiva mappa dei gradi di pericolo e la valutazione del pericolo viene pubblicato giornalmente alle 17:00 con validità per il giorno successivo, con la possibilità di essere aggiornato alle 8:00 del giorno di validità.

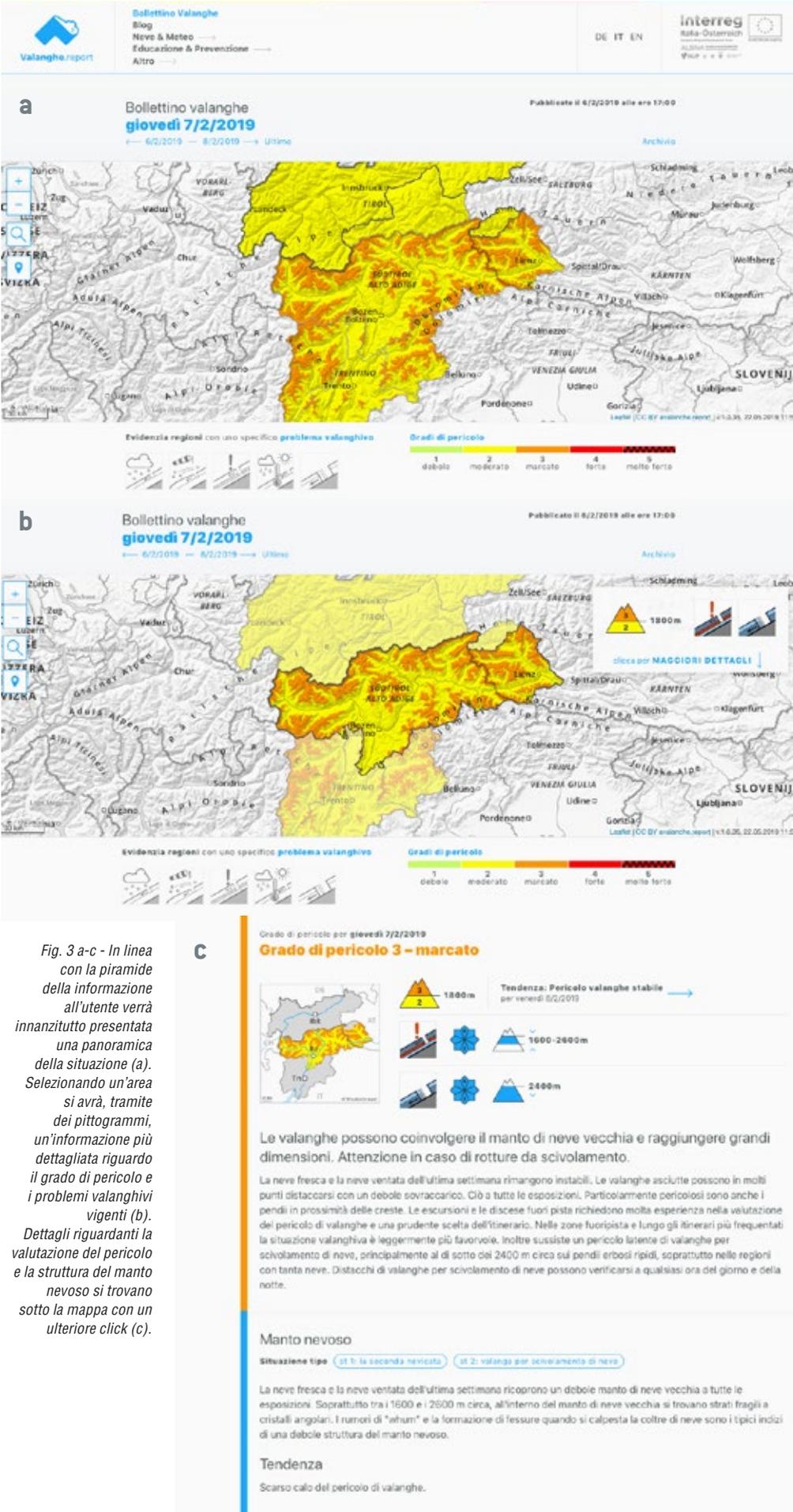


Fig. 3 a-c - In linea con la piramide della informazione all'utente verrà innanzitutto presentata una panoramica della situazione (a). Selezionando un'area si avrà, tramite dei pittogrammi, un'informazione più dettagliata riguardo il grado di pericolo e i problemi valanghivi vigenti (b). Dettagli riguardanti la valutazione del pericolo e la struttura del manto nevoso si trovano sotto la mappa con un'ulteriore click (c).

Nel caso di importanti variazioni del pericolo, nel corso della giornata, è inoltre possibile realizzare due grafiche distinte per la mattina e il pomeriggio. Tutte le informazioni aggiuntive relative a meteo e neve, vengono visualizzate sulla cartina unificata della zona Euro-gio. Non manca inoltre la rappresentazione delle stazioni meteo e dei profili del manto nevoso. La comunicazione con il pubblico viene ulteriormente arricchita, grazie all'utilizzo di un blog. Questo strumento, che in Tirolo è già in uso da anni, permette ai previsori di descrivere con maggiore dettaglio situazioni o eventi particolari, dando inoltre così opportunità a chi legge di approfondire certi argomenti di suo interesse. Il blog è comune per i tre servizi prevenzione valanghe e direttamente consultabile sul sito valanghe.report. L'utente ha la possibilità di filtrare i post secondo argomenti, territorio, lingua e data. Il blog rappresenterà inoltre l'unico aspetto del sito per il quale non sarà garantita la traduzione in tutte e tre le lingue, in quanto si è ritenuto più importante permettere ai previsori di scrivere liberamente il testo.

valanghe.report in digitale

Durante tutto il processo di sviluppo del sito web, si è tenuto in considerazione che ci sono sul mercato innumerevoli dispositivi con schermi di dimensioni e proporzioni diverse e diversi modi di interagire da parte dell'utente. Grazie al responsive design del sito, la visualizzazione si adatta al dispositivo utilizzato, si garantisce così un'esperienza di utilizzo piacevole e comoda indipendente dal fatto di consultarlo tramite pc, tablet o smartphone (figura 5). Grazie a questo fatto, non è stata sentita la necessità di sviluppare anche una app per valanghe.report.

valanghe.report su carta

La nuova veste interattiva del bollettino valanghe si presta male ad essere trasportata tale e quale sulla carta stampata. Per questo obiettivo sono quindi stati

realizzati prodotti appositi, ottimizzati per essere stampati su fogli A4 e che contengono le stesse informazioni della loro controparte digitale.

SI CONCLUDE CON UN NUOVO INIZIO

In conclusione, non ci resta che invitarvi a consultare il nuovo bollettino valanghe dell'Euregio. Venite a visitarci sul sito valanghe.report, lawinen.report, avalanche.report.

Ringraziamenti

Un tale progetto può svolgersi con successo solo in presenza di un team forte. Questo team è composto da:

1. Rappresentanti della Regione Europea del Trentino, Alto Adige e Tirolo (EVTZ, Matthias Fink e Elena Rado),
2. I tre servizi di prevenzione valanghe del Tirolo (Rudi Mair e Patrick Nairz), Alto Adige (Michela Munari, Günther Geier, Fabio Gheser e Lukas Rastner) e Trentino (Alberto Trenti, Sergio Benigni, Gianluca Tognoni, Marco Gadotti, Paolo Cestari e Walter Beozzo),
3. Il team del gruppo di lavoro cartografia e geoinformazioni dell'Istituto per geografia e ricerca regionale dell'università di Vienna (Karel Kriz, Alexander Pucher, Daniel Nell e Leonhard Brunauer).

Inoltre, hanno collaborato anche la ditta Transporter (webdesign), Simon Abler (printdesign), Clesius (sviluppo software), il team di traduttrici di Monika Engrieber, Paul Mair come moderatore e l'SLF (Kurt Winkler e Jürg Schweizer) come supporto per le questioni legate al catalogo delle frasi, così come la ZAMG per i modelli meteo (Manfred Bauer und Marc Olefs).

Senza la stretta collaborazione di tutte le parti coinvolte, questo fantastico progetto non sarebbe mai stato realizzato e di certo non con un tale successo. Un sentito grazie a tutti i partecipanti. (Figura 6). Un ringraziamento particolare a Rudi Mair e Hans Peter Staffler, che,



Fig. 4 - Esempio di una carta delle temperature per tutta la Regione Europea. Valori stagionali possono essere rappresentati singolarmente o in combinazione con la carta di base modellata.

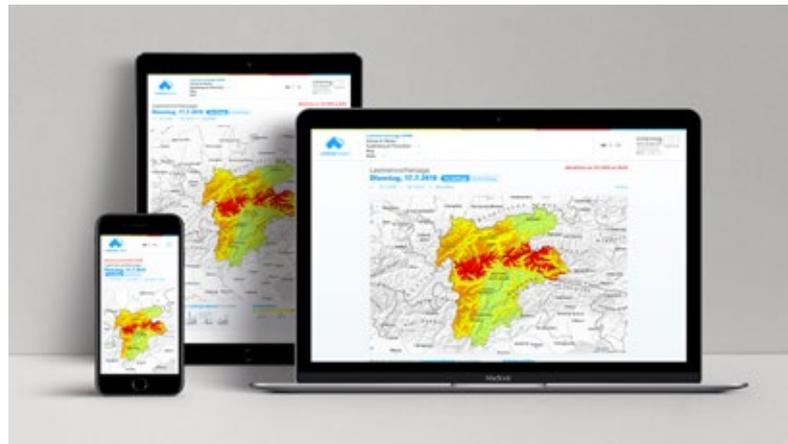


Fig. 5 - Design responsivo. Grazie al design responsivo la pagina valanghe.report si adatta alla risoluzione del dispositivo utilizzato.



Fig. 6 - Il gruppo di progetto d'estate. Finalmente si scopre cosa fanno i previsori valanghe in estate. Da sx: Alexander Pucher, Monika Eingrieber, Matthias Fink, Christoph Mitterer, Alberto Trenti, Günther Geier, Paolo Cestari, Lukas Rastner, Paul Mair, Alex Boninsegna, Rudi Mair, Norbert Lanzanasto, Christine Weise, Daniel Nell, Patrick Nairz, Karel Kriz.

con la loro visione di un bollettino valanghe congiunto per Tirolo, Alto Adige e Trentino, hanno messo le basi per il progetto già anni fa.

Il progetto è stato finanziato nell'ambito del programma Interreg Italia-Austria (2017-E-001-INTERREG-IT-AT-3004-ALBINA-CUP-B29G16000720006).

TEMPESTA VAIA

individuazione delle
aree da valanga
con le immagini
Sentinel-2

Mauro Valt

ARPAV Veneto - Centro Valanghe di Arabba,
via Pradat 5- Arabba, 32020 Livinallongo
del Col di Lana (BL) - Italy

Rosamaria Salvatori

CNR, IIA - Institute of Atmospheric
Pollution Research, Via Salaria km 29,300
C.P. 10, 00016 Monterotondo (Roma), Italy

Roberto Salzano

CNR, IIA - Institute of Atmospheric
Pollution Research, Via Madonna del Piano 10,
50019 Sesto Fiorentino (FI) Italy

Gianni Marigo

ARPAV Veneto - Centro Valanghe di Arabba,
via Pradat 5- Arabba, 32020 Livinallongo
del Col di Lana (BL) - Italy

Identification of potential avalanche areas associated with the Vaia storm using Sentinel-2 data

*Between October the 27th and the 30th, Italy was interested
by a very deep Low Pressure system named "VAIA", which
caused extremely strong wind gusts, storm surges and heavy
rainfalls, especially on the Eastern Alps, where also more than
600 mm/96 hs total amount has been recorded [Trenti, 2019;
Veneto Region, 2018].*

*In addition to the rain, the extremely strong wind gusts caused
the destruction of several woods.*

*It was estimated that a forestry area of 1.366.000 hectares has
been involved, with the complete destruction of around 42.000
hectars, with a total estimated value of more than 8.500.000
cubic meters of felled timber [Chirici, 2019]. Particularly
serious look the wood's damages in 3 Municipalities of the
Belluno Province (Rocca Pietore, Livinallongo del Col di Lana
and Colle Santa Lucia), where the biggest part of the avalanche
defense wood has been destroyed.*

*In this paper, after a general introduction of the event, the
methodology for the quick identification of the destroyed
defense wood areas, carried out in the days following the event
by the satellite images, is described.*

L'Italia, fra il 27 e il 30 di ottobre 2018, è stata interessata da una profonda depressione atmosferica denominata "Vaia" che ha generato violentissime raffiche di vento, mareggiate e piogge alluvionali soprattutto sulle Alpi Orientali dove sono stati misurati anche più di 600 mm di precipitazione in 96 ore (Trenti, 2019; Regione del Veneto, 2018).

Oltre alle piogge, le fortissime raffiche di vento hanno determinato la distruzione di molti boschi.

Si stima che la copertura forestale interessata sia di 1.366.000 ettari con la completa distruzione di circa 42.000 ettari, per un totale stimato di più di 8.500.000 metri cubi di legname (Chirici, 2019). Di particolare gravità di danni al bosco prodotti in 3 comuni del bellunese (Rocca Pietore, Livinallongo del Col di Lana, Colle Santa Lucia) dove è andato distrutto gran parte bosco di protezione dalle valanghe.

Nel presente lavoro, dopo un inquadramento generale della problematica, viene descritta la metodologia di individuazione rapida del bosco di protezione distrutto effettuata nei giorni immediatamente seguenti l'evento utilizzando le immagini da satellite.



LA TEMPESTA "VAIA"

La depressione atmosferica "Vaia" si è sviluppata sabato 27 ottobre 2018, in un contesto meteorologico esteso dal Baltico al Mediterraneo occidentale. Il fenomeno ha avuto un carattere stazionario sui mari tra il Golfo del Leone, le Baleari e la Sardegna fino al mattino di lunedì 29 quando è avvenuta l'irruzione massiccia di aria dalla Valle del Rodano. L'evento perturbato che ha successivamente portato alla distruzione del bosco è iniziato, quindi, sabato 27 ottobre con correnti di libeccio (S- SW) e precipitazioni intense sulle Alpi e sull'Appennino settentrionale (Fig. 1). Il flusso meridionale ha determinato forti piogge da sbarramento e sollevamento orografico lungo tutta la fascia prealpina della Alpi

fino lungo la cresta di confine con l'Austria nelle Alpi orientali. Nelle Dolomiti, nelle 2 giornate sono state misurate precipitazioni di 168+284 mm a Soffranco, 65+271 mm a Agordo, 109+207 mm a Col dei Pra, 66+193 mm a Cencenighe, 60+209 mm a Feltre e quasi 300 mm a Sappada (UD) (www.arpa.veneto.it). Lungo la cresta di confine con l'Austria le precipitazioni sono state meno intense ma comunque significative come ad esempio a Vipiteno (BZ) (<https://webapp-afbs.prov.bz.it/>) con 159 mm in 2 giorni, ad Anterselva di Sopra (BZ) con 123 mm (<https://webapp-afbs.prov.bz.it/>). Queste precipitazioni hanno determinato un primo importante ingrossamento dei fiumi Serio, Sarca, Adige, Brenta e

Piave (Cat Berro et al., 2018).

Dopo una temporanea diminuzione dei fenomeni nella serata di domenica 20 e nella successiva notte, lunedì 29 ottobre si è sviluppato, a partire da W, un impetuoso rinforzo dello scirocco e lo sviluppo di violente celle temporalesche autorigeneranti tra la Sardegna, il Mar Tirreno e il Mar Ligure all'approfondirsi della depressione atmosferica "Vaia" poco a W della Corsica (Cat Berro et al., 2018).

Con l'irruzione di aria fredda la depressione ha subito un rapido approfondimento, classificabile quasi come "ciclogenesi esplosiva" (per la quale viene considerata una soglia di 24 hPa di diminuzione della pressione in 24 ore) (Cat Berro et al., 2018). La depressione, con un minimo di 995 hPa fra le Baleari e la Sardegna, si è spostata verso NE raggiungendo in poche ore 978 hPa a livello del mare (misurata alle ore 18:24 presso la stazione Collegio Carlo Alberto di Moncalieri, ridotta al livello del mare- www.nimbus.it), (Fig. 2) transitando in serata lungo la pianura Padana e attraversando le Alpi con un notevole rinforzo dei venti.

Diversamente dal solito, il così detto fronte freddo, in realtà formato da due successive e molto ravvicinate strutture frontali, è entrato da S sospinto da correnti portanti molto veloci e da un minimo profondo, caratterizzato da un elevato gradiente orizzontale di pressione e da un rapido movimento da S verso N (Merzari et al., 2018)

In poche ore ha valicato le Alpi con l'aria fredda che ha attraversato l'arco alpino in modo repentino andando a scalzare l'aria calda nelle vallate. Questo ha determinato che in molti valli si è passati, in pochissimi minuti, da una condizione di calma di vento a raffiche oltre i 100 km/h.

La presenza di una struttura anticiclonica sul Mediterraneo più orientale, ha inoltre prodotto una condizione di blocco che ha fatto rafforzare il flusso meridionale sulle Alpi orientali.

L'origine dei fenomeni che hanno carat-

Fig. 1 - Situazione sinottica alle ore 12 del 27 ottobre (altezza del geopotenziale a 500 hPa e pressione al suolo), da wetter3.de

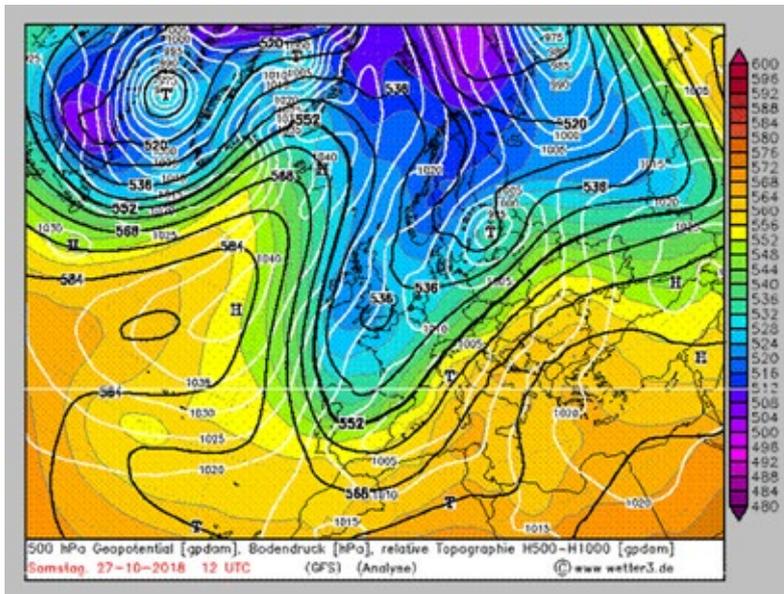
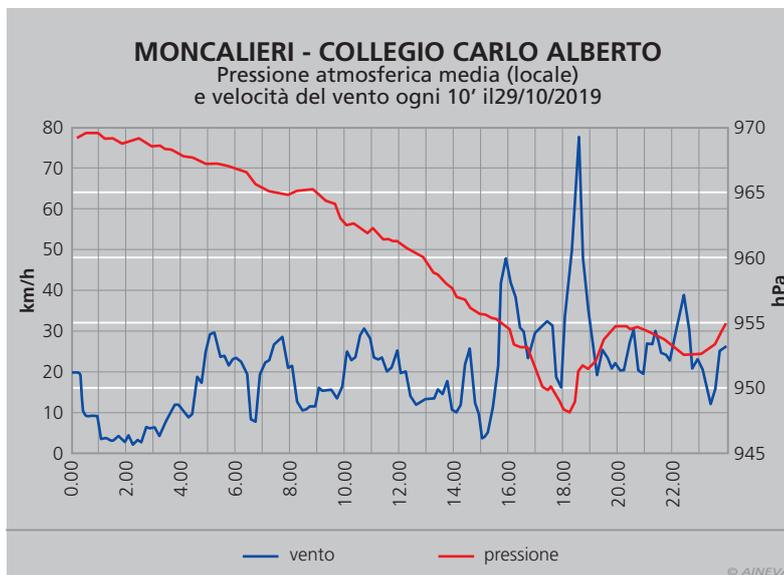


Fig. 2 - Andamento della pressione ridotta al livello del mare e del vento il giorno 29 ottobre presso l'Osservatorio Meteorologico SMI di Moncalieri, da www.nimbus.it



terizzato il passaggio della depressione e dell'associato fronte freddo è dovuta ad una serie concomitante di fattori a meso e micro scala:

- una ventilazione sinottica molto sostenuta (scirocco) legata alla posizione del minimo e al blocco altopressorio ad E: il forte gradiente di pressione e la posizione del jet-streak hanno convogliato verso le Alpi orientali un forte flusso di correnti meridionali a tutte le quote, già nelle giornate precedenti, con un'ulteriore accelerazione il giorno 29 per la stazionarietà dell'alta pressione e il rapido avanzamento della bassa pressione dal Mediterraneo occidentale.
- una componente così detta isallobarica, dovuta ai forti gradienti di pressione orizzontali in prossimità e al passaggio del profondo minimo di pressione al suolo, eccezionalmente profondo, e il suo rapido incedere da S-W verso N-E, ha determinato marcati gradienti orizzontali di pressione al suolo, con conseguente accelerazione del flusso richiamato verso il centro della depressione, definendosi il vento come lo spostamento di una massa d'aria da una zona di alta verso un centro di bassa pressione.
- una componente legata alla tipologia del fronte: il fronte freddo transitato è classificabile come un "ana-cold front", ovvero un fronte freddo caratterizzato da violento incunearsi dell'aria fredda post frontale nei bassi strati atmosferici, con fenomeni di compressione dall'alto verso il basso della stessa massa d'aria fredda post-frontale.
- una componente orografica dovuta alla geometria delle valli e al loro orientamento, che ha comportato un'accelerazione del flusso nelle valli più strette: una volta raggiunto il baluardo alpino, le forti correnti meridionali si sono incanalate nelle vallate interne, soprattutto quelle con prevalente orientamento S-N, subendo un'accelerazione per effetto dei restringimenti delle valli, per il così

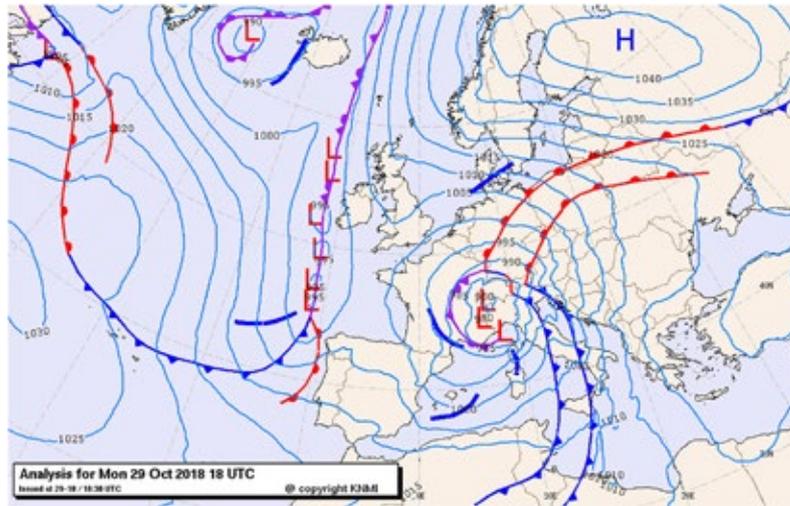


Fig. 3 - Pressione al livello del mare e fronti alle ore 18 UTC del 29 ottobre, da knmi.nl

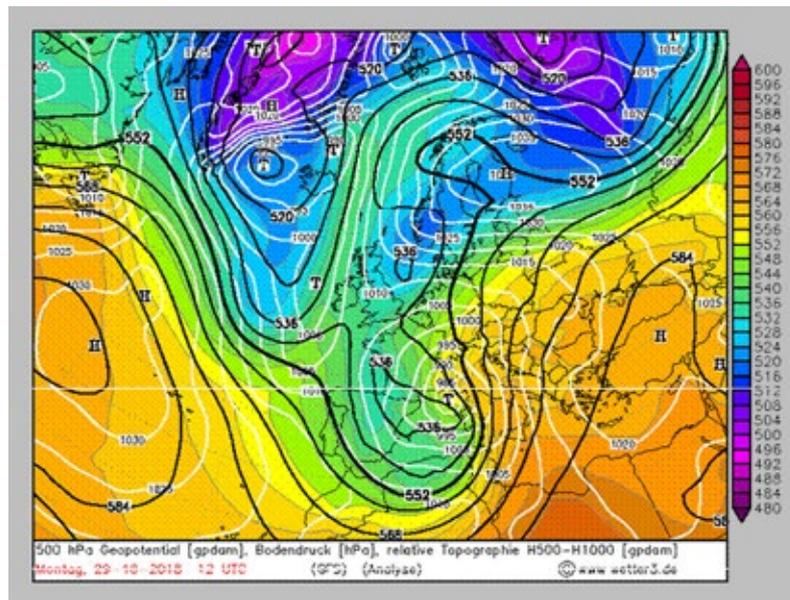


Fig. 4 - Situazione sinottica alle ore 12 del 29 ottobre (altezza del geopotenziale a 500 hPa e pressione al suolo), da wetter3.de

detto effetto Venturi, ovvero un'accelerazione del flusso alla diminuzione della sezione in cui esso è costretto a passare; tale fenomeno è risultato acuito dalla compressione dovuta al passaggio dell'ana-cold front, così come descritto al punto precedente, che ha costretto il flusso a transitare nei settori più prossimi ai fondovalle, dove appunto la sezione geometrica risulta minore.

- una componente di raffica in uscita dalle celle temporalesche che hanno caratterizzato il fronte freddo transitato: l'esteso fronte freddo, come sopra riportato formato in realtà da due conseguenti e ravvicinate strutture frontali, è stato caratterizzato da un serie continua di celle temporalesche particolarmente sviluppate; questo tipo di strutture sono caratterizzate

da forti venti in uscita anteriormente ad esse, i così detti out flow, cioè forti raffiche di venti catabatici (di caduta) nella parte anteriore delle celle temporalesche; il violento impatto della discesa di correnti fredde che scendono dall'alto si definisce downburst e può causare venti particolarmente violenti, che in prossimità del fronte prendono il nome di Gust Front; queste raffiche subiscono in prossimità del suolo una violenta espansione, paragonabile ad un violento scoppio (burst), che può produrre un vortice rotante ad asse orizzontale (rotore) entro il quale si manifestano impulsi di vento molto ravvicinati tra loro, che generano forti turbolenze rispetto ai venti in entrata nelle celle (inflow) che si trovano davanti alle celle stesse e hanno direzione opposta. Le micro raf-

VALANGHE

fiche che si generano (Burst Swaths) sono fenomeni molto effimeri e di dimensioni ridotte (qualche centinaio di metri), ma intensi (raffiche a 220 - 250 km/h), assumendo una velocità paragonabile a quella osservabile in un tornado di categoria F2 o F3, ma rispetto al tornado i venti sono lineari e si fanno strada a forma di ventaglio. In conclusione, le raffiche più forti e distruttive si sono verificate ove si è verificata concomitanza dei vari fattori sopra descritti, non essendo sufficiente nessuno dei singoli fenomeni a determinare raffiche così violente su un territorio tanto esteso.

I forti venti, con raffiche superiori ai 140 km/h in molte località (Monte Cesen 192 km/h, Monte Verena 167 km/h, Passo Valles 149 km/h, Monte Avena 147 km/h, Passo Pordoi 147 km/h, etc.), sono stati concentrati soprattutto nel pomeriggio e nella serata-notte di lunedì 29 con sradicamento di parecchi alberi, tetti di case e abbattimento di intere foreste.

Le precipitazioni più intense, aggiunte a quelle di sabato e domenica, sono avvenute sia sull'Appennino settentrionale, ma soprattutto nel Bellunese e nella Carnia occidentale. Nelle Dolomiti in 96 ore sono stati misurati 715 mm di

pioggia a Soffranco, 565 mm ad Agordo, 548 mm a Cencenighe, 450 mm a Borca di Cadore con intensità, lunedì 29 ottobre, di 51.45mm/h a Gares, di 115 mm/3h e di 205mm/6h a Sant'Andrea di Gosaldo (BL).

La pioggia sulle Alpi ha prodotto, nella notte fra lunedì 29 e martedì 30 ottobre, una seconda ondata di piena di tutti fiumi delle Alpi. Le portate di piena sono state in molti casi maggiori di quelle delle alluvioni precedenti (1966 ad esempio) con erosioni di strade, crolli di ponti, frane e dissesti vari. Nel bellunese e nel trentino molte vallate sono rimaste isolate e senza energia elettrica per parecchi giorni.

La neve è ricomparsa nella notte fra sabato 27 e domenica 28 ottobre con apporti di 50-100 cm a 2900 m e di 25-30 cm a 2600 m. Il limite della neve è rimasto generalmente elevato, oltre il 2400 m di quota ma in alcune vallate è sceso temporaneamente fino a 1600-1900 m. Il secondo episodio, fra lunedì 29 e martedì 30 (Fig. 3, 4), ha determinato la comparsa della neve fino a 1700 m di quota. Gli apporti sono di ulteriori 20 cm a 2000 m e di 30-40 cm oltre i 2500 m di quota. La fusione del manto nevoso è stata comunque lenta e non così im-

portante come nell'alluvione del 1966.

LE FORESTE

I forti venti hanno determinato l'abbattimento di oltre 8,5 milioni di m³ di legname (Chirici et al., 2019) (Fig. 5). La regione maggiormente colpita è stata il Trentino Alto Adige con oltre 22 mila ettari di bosco danneggiato (rispettivamente 18.000 ha in provincia di Trento e 4.000 ha in provincia di Bolzano), il Veneto con 12.500 ettari, la Lombardia con circa 4.000 ha, il Friuli Venezia Giulia con 3.000 ha e in modo minore il Piemonte e la Valle d'Aosta.

Questi valori, espressi nel lavoro di Chirici et al. 2019, evidenziano ancor di più che la tempesta Vaia ha prodotto i maggiori danni nelle Alpi Orientali fra le Prealpi Venete e le Dolomiti di Trento, Belluno e Bolzano. Ad esempio, nella Provincia di Bolzano i maggiori danni sono stati rilevati nei comuni di Nova Levante con il 16,6 % della superficie forestale schiantata, di Anterivo con il 15,6%, Andino con il 11,7% (dati Provincia Autonoma di Bolzano, 2019) con percentuali maggiori nei Comuni di Colle Santa Lucia, Rocca Pietore e Livinallongo del Col di Lana in Provincia di Belluno. In generale il vento è il maggior fattore di

Fig. 5 - Comune di Colle Santa Lucia. Abitato di Rucavà con strada regionale n. fotografato da Laste. Il bosco di abeti danneggiato (foto del 14 novembre 2018).



disturbo degli alberi in Europa, con oltre il 50% dei danni a boschi e foreste e con circa 38 Milioni di metri cubi abbattuti ogni anno (Gardiner et al., 2013), seguito dagli incendi boschivi con circa il 16%. I danni prodotti dal vento sono in genere dovuti a condizioni meteorologiche, topografia del territorio, condizioni stagionali e tipologia di struttura del popolamento forestale (Schindler et al., 2012). Dal punto di vista della struttura del bosco (Motta et al., 2019) ci sono dei popolamenti più facilmente interessati da schianti rispetto ad altri per maggior altezza (Thomasius, 1981), per condizioni fitosanitarie e struttura verticale del popolamento (Mitchell e Ruae, 2016). Tuttavia, quando il vento è forte, i fattori strutturali di un bosco sono poco importanti in quanto le forze di resistenza dell'albero sono inferiori a quelle esercitate dalla massa d'aria (Motta et al., 2019; Favero e Carniel, 2019). Le velocità critiche del vento variano dai 94-100 km/h per i singoli alberi (Virost et al., 2016) per arrivare ai 150 km/h per boschi resistenti (Gardiner et al., 2013). In generale sulle Alpi la velocità critica è fra i 50 e i 90 km/h mentre, ad esempio, sugli Appennini è maggiore.

La tempesta VAIA ha interessato una grande varietà di categorie forestali (pinete, peccete montane, subalpine, miste, bosco misto con abete, peccio e faggio, etc.), tipi strutturali (foreste monostratigrafiche, pluristratigrafiche, pure, miste ed anche cedui) e di settori altitudinali (Motta et al., 2019; Favero e Carniel, 2019). Ad esempio, nell'Agordino (Provincia di Belluno), i forti venti che hanno risalito la valle, hanno creato danni a quote inferiori ai 500 m nel bosco misto di abete e faggio per arrivare al limite della vegetazione a 1900 m a Livinallongo del Col di Lana con danni a larici e abeti rossi.

I danni prodotti dalla tempesta VAIA sono riconducibili ad eventi distruttivi che comunque hanno una certa frequenza in Europa. In Italia si ricordano gli eventi avvenuti durante l'alluvione del 4 novembre 1966 con 700.000 m³



Fig. 6a - Inquadramento geografico dell'area oggetto di indagine nel presente lavoro e interessata dalla tempesta VAIA. Comuni di Livinallongo del Col di Lana, Rocca Pietore, Colle Santa Lucia (Provincia di Belluno).



Fig. 6b - Comune di Livinallongo del Col di Lana. Abitato di Livinè e strada statale n. 50 delle Dolomiti. Sopra l'abitato si nota una ampia porzione di bosco a terra. La rimozione degli alberi potrebbe creare una situazione a rischio per l'abitato in caso di nevicate.

di legname abbattuto in Trentino, gli effetti della tempesta Vivian (25 - 27 febbraio 1990) hanno determinato 80-100.000 m³ di legname abbattuto fra Piemonte e Valle d'Aosta e più recentemente, il 4-5 marzo 2015, gli oltre 300.000 m³ di legname abbattuto in Toscana.

In Europa:

- la tempesta Vivian, fra Germania, Gran Bretagna, Irlanda, Francia, Olanda, Belgio e Svizzera e i citati eventi in Piemonte e Valle d'Aosta, ha abbattuto 60-70 Mm³ di legname;
- la tempesta Lothar e Martin nel 1999, tra Francia Belgio e Germania, oltre 240 Mm³;

- la tempesta Gudrun nel 2005 fra Irlanda, Gran Bretagna, Danimarca, Norvegia, Svezia e Russia oltre 70 Mm³;
- la tempesta Kryll nel 2007, che ha investito tutta l'Europa centrale dall'Irlanda alla Slovacchia oltre 60 Mm³ di legno a terra.

BOSCO DI PROTEZIONE

In alcuni comuni delle Alpi orientali, i forti venti hanno determinato la distruzione dei boschi di protezione (Fig. 6) dalle valanghe, di paesi e strade, con notevoli ricadute gestionali del pericolo valanghe durante la stagione invernale 2018-2019 e in quelle successive.



In generale un bosco protegge con efficacia da frane e valanghe il territorio alpino. Nel bosco il manto nevoso è più stabile che lungo i versanti aperti sia perché le chiome intercettano una parte della neve di precipitazione, favorendo una prima trasformazione, sia perché le condizioni termiche ambientali al suo interno sono più omogenee, con minime più elevate e massime inferiori al campo aperto. Gli effetti del trasporto eolico nel bosco sono inferiori, raramente si formano lastroni, e anche perché i tronchi degli alberi puntellano il manto nevoso. Più un bosco è rado, minore è il

suo effetto protettivo contro le valanghe. Anche parametri come lunghezza e larghezza delle radure e composizione delle specie (Breien e Høydal, 2013; Frey e Salm, 1990) influenzano l'effetto protettivo del bosco.

Secondo Bepi et al., 2009, l'espansione delle foreste nel XIX secolo, ha portato anche ad una diminuzione dell'attività valanghiva in alcune aree delle Alpi.

In Svizzera, circa la metà dei boschi protegge strade, linee ferroviarie o centri abitati sottostanti, da pericoli naturali come valanghe o frane. (<https://www.slf.ch/it/ecosistemi-di-montagna/bosco-di-protezione.html#tabellement1-tab1>).

La tempesta VAIA ha cambiato improvvisamente questa protezione in molte aree alpine, come avvenuto nel Canton dei Grigioni per l'abitato di Curaglia ad opera della tempesta Vivian nel 1990. Tuttavia, gli effetti della VAIA sono stati più vasti e hanno interessato diversi abitati in molte vallate con la necessità, vista l'imminenza della stagione invernale, di identificare, in tempi brevi, i boschi venuti meno alla loro funzione di protezione dalle valanghe.

LE NUOVE AREE VALANGHIVE

Le nuove aree valanghive sono identificate da quelle porzioni di bosco abbattuto, lungo pendii con più di 29° di inclinazione, che ora possono risultare delle aree di potenziale distacco di valanghe (Fig. 7). Infatti sulle Alpi, in campo aperto, l'inclinazione di 29° è quella dove si staccano spontaneamente le valanghe (Roch, 1980).

La situazione di partenza nel novembre 2018, è la presenza di tutto il legname a terra, distribuito in modo caotico in funzione della densità del bosco, della specie e anche della direzione del vento (Fig. 8 a, 8b). Questo legname fortunatamente costituisce una "rugosità elevata del terreno" e quindi, fino a certi spessori di neve al suolo, un impedimento allo sviluppo delle valanghe spontanee. Pertanto, nel range di inclinazioni fra

i 29° e i 35° gli alberi abbattuti costituiscono un buon supporto al manto nevoso riducendo l'attività valanghiva spontanea e lo scivolamento della neve (Margreth et al., 2018). L'effetto "ancoraggio" dei tronchi viene meno quando lo spessore della neve al suolo supera quello dei tronchi (stimato in 1,5 - 2,0 m) (Fig. 9) e quindi l'area diventa valanghiva (Margreth et al., 2018).

Nelle inclinazioni oltre i 35° l'effetto "ancoraggio" dei tronchi diminuisce progressivamente anche per scivolamento degli stessi verso valle.

Oltre a queste aree è stato necessario individuare le zone a bassa rugosità (radure e prati), all'interno o sovrastanti le zone di schianto, che possono dar luogo al distacco localizzato di lastroni. Queste aree potevano generare valanghe che venivano intercettate dal bosco e quindi non essere pericolose per le zone antropizzate, ma ora possono invece raggiungere quote più basse mancando la il bosco.

L'identificazione di queste diverse tipologie di aree in funzione dell'inclinazione della presenza o meno del bosco a terra, indirizza in modo diverso la gestione dell'emergenza sul territorio e delle aree antropizzate, eventualmente coinvolte, ossia ora è lungo lo sviluppo della potenziale nuova valanga. Nel caso di inclinazioni basse (29° - 35°) con bosco a terra, la situazione di pericolo è bassa fin quando non viene superato il valore dello spessore dei tronchi (Fig. 10).

Nel caso di inclinazioni superiori, il pericolo diventa maggiore per minor effetto del bosco a terra ma, la quantità di neve al suolo è di norma inferiore poiché tende a scaricare spontaneamente verso valle.

La mancanza di bosco lungo la zona di scorrimento delle valanghe che si originano in alta quota può dar luogo a valanghe più grandi, specie in caso di apporti nevosi importanti.

Per tutte e tre le situazioni manca un'esperienza pratica e anche della bibliografia adeguata (UFAM, 2008). Pertanto, andranno studiate singolarmente le

potenziali valanghe e prese le dovute misure di prevenzione, adattandole man mano che il bosco a terra si deteriorerà con il passare del tempo a causa di parassiti e altro (Favero e Carniel, 2019).

LA METODOLOGIA APPLICATA

La disponibilità di immagini satellitari multispettrali, riprese sistematicamente su ampie porzioni della superficie terrestre, rappresenta uno strumento ottimale per l'analisi delle variazioni, dovute a cause antropiche o naturali, che incorrono sul territorio.

Pertanto, per individuare i boschi abbattuti della tempesta VAIA sono state utilizzate le immagini multispettrali riprese dal satellite Sentinel-2[°], focalizzando l'attenzione sulle aree in cui il bosco di protezione è venuto meno in modo importante, quali i comuni di Rocca Pietore, Colle Santa Lucia e Livinallongo del Col di Lana in provincia di Belluno (Valt e al., 2019).

Il programma Copernicus dell'Agenzia Spaziale Europea (ESA) comprende diverse piattaforme satellitari Sentinel che sono dedicate all'osservazione della superficie terrestre e sono equipaggiate con sensori diversi, in grado di osservare il nostro pianeta nella sua complessità. La prima missione Sentinel-1 comprende una costellazione di due satelliti in orbita polare, che operano giorno e notte acquisendo immagini radar in banda C, indipendentemente dalle condizioni atmosferiche. La seconda missione Sentinel-2 si compone, invece, di due satelliti in orbita polare eliosincrona (sfasata di 180°), su cui sono alloggiati sensori per l'acquisizione di immagini ottiche passive. Il sensore multispettrale (MSI) acquisisce immagini nell'intervallo spettrale compreso tra 400 e 2500 nm, con diverse risoluzioni spaziali (Tab. 1). In condizioni di cielo privo di copertura nuvolosa i due satelliti gemelli, S2A e S2B, assicurano un tempo di rivisitazione di 5 giorni. Lo stesso programma prevede inoltre satelliti con sensori attivi con caratteristiche orbitali simili.



Nella pagina a fianco, dall'alto in basso:

Fig 7 - Comune di Rocca Pietore - volo elicottero Carabinieri Forestali, Foto Renato Zasso. Con la neve al suolo, il bosco a terra è ancora più evidente.

Fig. 8 - Vaste aree schiantate e direzione del vento con direzioni prevalenti degli schianti (freccie color rosso).

Fig. 9 - Bosco a terra ricoperto di uno spessore di 50 cm di neve. L'effetto "ancoraggio" dei tronchi viene meno quando lo spessore della neve al suolo supera quello dei tronchi (stimato in 1,5-2,0 m) e quindi l'area diventa valanghiva.

Fig. 10 - Particolare di una area schiantata con alberi in direzione trasversale tendente alla linea di pendenza con neve al suolo (30-60 cm). Il manto nevoso non ha una distribuzione continua e quindi, con questi spessori di neve al suolo, non c'è una continuità di neve tale da generare una possibile valanga.

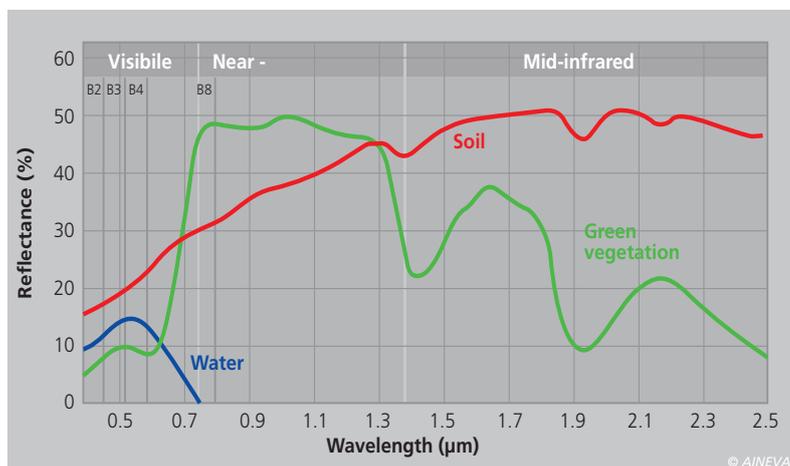


Fig 11 - Spettro di riflettanza di vegetazione, suolo ed acqua. Le linee in nero rappresentano il centro delle bande Sentinel-2A con risoluzione spaziale di 10 m (bande B2, B3, B4, B8)

VALANGHE

Fig 12 - Immagine Sentinel 2A del 11 novembre 2018 (rappresentazione colori naturali RGB=B4B3B2) elaborata per enfatizzare le aree danneggiate dalla tempesta Vaia



Fig 13 - Immagine Sentinel 2A del 11 novembre 2018 (rappresentazione falso colore, banda infrarosso RGB=B8B3B2) elaborata per enfatizzare le aree danneggiate dalla tempesta Vaia - la vegetazione in buono stato è rappresentata in rosso mattone, evidente l'area danneggiata nelle tonalità marrone-grigio chiaro.



Per l'area interessata dalla Tempesta VAIA la prima immagine disponibile, con scarsa copertura nuvolosa, è risultata quella del Sentinel-2A del 11 novembre 2018, 13 giorni dopo l'evento. Questa situazione è da considerare particolarmente favorevole perché, come evidenzia Chirici et al., (2019) l'operatività delle immagini

Sentinel-2 è stata per alcune aree alpine fortemente limitata in quanto, ancora a fine gennaio 2019 causa condizioni di nuvolosità nel periodo autunno-inverno, per oltre il 50% dei comuni interessati non era disponibile ancora un'immagine utile per l'analisi del territorio.

Per poter effettuare un confronto mul-

titemporale e valutare la localizzazione e l'estensione delle aree effettivamente danneggiate è stata anche acquisita un'immagine pre-evento; temporalmente più vicina è risultata essere quella del 21 ottobre 2018 (6 giorni prima dell'evento). La distanza temporale tra le due immagini utilizzate è tale per cui lo stato fenologico dei boschi di latifoglie e caducifoglie nell'area di studio può essere considerato praticamente lo stesso nelle due date. In prospettiva, le immagini prodotte dalle piattaforme attive a microonde, come il Sentinel-1 potranno rappresentare una opportunità per l'analisi di eventi quali quello oggetto di studio, non essendo influenzate dalla copertura nuvolosa e dalla illuminazione della scena, ma al momento le metodologie basate sulle immagini ottiche rappresentano ancora il compromesso. Sentinel-1 è la prima delle cinque missioni che l'ESA sta sviluppando per Copernicus, più solida in termini di costi, copertura spaziale, risoluzione e metodologie già consolidate (Ruetschi et al., 2019). Per il presente lavoro il prodotto Sentinel considerato è stato del livello 2A, vale a dire un dato sottoposto a processi di elaborazioni utili ad ottenere i valori di riflettanza cosiddetti *bottom-of-atmosphere* (BOA). Mentre il livello 1 del prodotto include sia la correzione geometrica, legata al passaggio del satellite ed alle caratteristiche prospettiche proprie dei suoi sensori, che la correzione radiometrica, apportata in funzione della sensibilità intrinseca dei diversi sensori a bordo della piattaforma, il livello 2 comprende la correzione atmosferica legata alle condizioni di torbidità ed interferenza legate al mezzo compreso tra la superficie terrestre e la piattaforma satellitare. Il dato finale è proiettato su un reticolo cartografico basato sulla proiezione UTM/WGS84, costituito da elementi orto-rettificati, chiamati granuli, con estensione pari 100 x 100 km². I valori registrati sono espressi in termini di riflettanza e tengono conto delle interferenze atmosferiche legate alla presenza di aerosol, ozono e

vapor d'acqua che possono alterare la risposta ottica della superficie.

Per studiare gli effetti della tempesta sul territorio sono state utilizzate le bande Sentinel-2A con la risoluzione di 10 m per pixel, acquisite nell'intervallo spettrale vis-near IR. La scelta è stata dettata dalle caratteristiche spettrali della vegetazione, che riflette fortemente nel near-IR mentre assorbe alle lunghezze d'onda del visibile (Fig 11,12,13).

Le bande selezionate rappresentano un buon compromesso tra risoluzione spettrale e spaziale per poter individuare rapidamente le aree di bosco danneggiate. La classificazione delle immagini è stata impostata sul calcolo di un indice di vegetazione definito come *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), che è calcolato considerando il comportamento spettrale della vegetazione nel visibile e nell'infrarosso vicino:

$$NDVI = (B8 - B4) / (B8 + B4) \quad (1)$$

Una volta eseguita per ogni immagine questa stima, i valori di NDVI sono stati suddivisi in classi tenendo in considerazione la definizione di diversi livelli associati alla variazione stagionale nei valori di NDVI, legata allo stato fenologico dei diversi boschi.

L'immagine NDVI precedente l'evento ha permesso di caratterizzare, dal punto di vista spettrale, i diversi boschi fornendo così un'istantanea delle diverse realtà territoriali. I boschi di caducifoglie (bosco autunnale) infatti, in questo periodo stagionale, hanno indici di vegetazione relativamente bassi a causa della naturale perdita delle foglie. L'analisi dei valori di NDVI dell'immagine post-evento ha evidenziato numerose aree con valori di NDVI molto bassi, indicativi di una scarsa copertura vegetale, intesa come area fogliare. In questa immagine i bassi valori di NDVI possono essere rappresentativi sia dei boschi schiantati sia dei boschi che hanno perso le foglie a causa del loro naturale stato fenologico. Le indicazioni raccolte in situ, per alcuni punti campione, hanno permesso di di-

scriminare queste tipologie di superfici ed estendere poi i risultati all'intera area di studio. Tramite un'analisi di *change detection* sono state, quindi, evidenziate le aree in cui la differenza dei valori di NDVI prima e dopo l'evento era significativa e le differenze associate ad una delle classi di cui sopra.

In Fig. 14 è riportato uno stralcio dell'immagine relativa ai Comuni di Rocca Pietore, Colle Santa Lucia e Livinallongo del Col di Lana, con l'individuazione delle aree danneggiate. Nella figura, con le aree danneggiate colorate di marrone, è possibile avere una prima dimensione

dei danni prodotti dalla tempesta VAIA. Molte le singole aree, formate da singoli o pochi pixel raggruppati nell'immagine, e altre molto vaste e che costituiscono situazioni valanghive più importanti. È necessario evidenziare come i singoli pixel rappresentino solo il bosco abbattuto, ma molti singoli pixel vicini possono costituire una superficie da valanga più vasta, formata anche dal poco campo aperto fra gli interposti pixel o alberi rimasti in piedi.

Nella Fig. 15, che è il riquadro verde della figura 14, relativa alla zona del Comune di Livinallongo del Col di Lana, questo

SPATIAL RESOLUTION (m)	BAND NUMBER	S2A		S2B	
		Central Wavelength (nm)	Bandwidth (nm)	Central Wavelength (nm)	Bandwidth (nm)
10	2	496,6	98	492,1	98
	3	560,0	45	559	46
	4	664,5	38	665	39
	8	835,1	145	833	133
20	5	703,9	19	703,8	20
	6	740,2	18	739,1	18
	7	782,5	28	779,7	28
	8a	864,8	33	864	32
	11	1613,7	143	1610,4	141
60	12	2202,4	242	2185,7	238
	1	443,9	27	442,3	45
	9	945,0	26	943,2	27
	10	1373,5	75	1376,9	76

© AINEVA

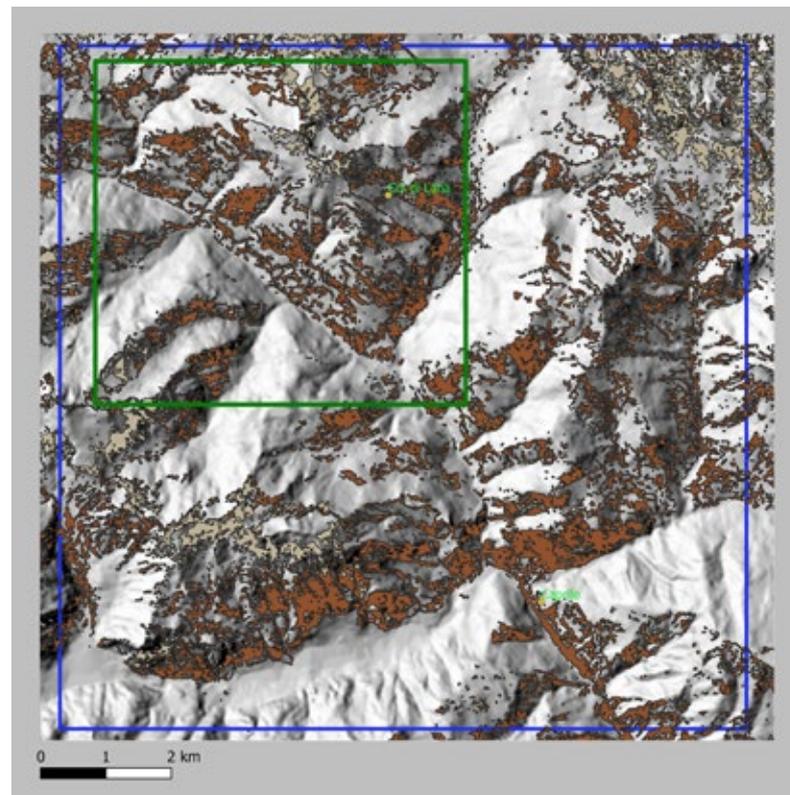


Fig 14 - Modello digitale del Terreno (DTM) con sovrainposte le aree interessate dagli schianti derivate dall'elaborazione delle immagini Sentinel 2. Nel riquadro l'area riportata in Fig 15.

VALANGHE

livello di informazioni è stato integrato con la carta delle pendenze ricavata da un DEM. Il DEM è visualizzato con le classi di inclinazioni caratteristiche delle valanghe, distinguendo fra in pendii con inclinazioni inferiori ai 29°, quelli fra 29 e 35° e quelli superiori. Il risultato evidenzia come la quasi totalità di aree schiantate, individuate con il telerilevamento, ricadano su terreni favorevoli al distacco di valanghe.

VERIFICA A TERRA

Le nuove aree valanghivie, individuate mediante interpretazione delle immagini da satellite, sono state classificate in modo rapido e speditivo. I risultati sono stati utilizzati come supporto all'indagine effettuata da tecnici specializzati, mediante indagine a terra, e riporto su GIS dei contorni degli schianti.

Il lavoro a terra è stato concentrato sulle aree antropizzate, visto l'approssimarsi dell'inverno.

Nella Fig. 16 sono riportate le aree con gli schianti identificati con il telerilevamento a novembre 2018 e le aree contornate (aree verdi) mediante indagine

sul terreno nei mesi successivi (Dorigo e Tomaselli, 2019).

Le due informazioni, seppure rilevate con metodi diversi, evidenziano una elevata corrispondenza.

Sulla montagna veneta, sono stati classificati, tramite indagine sul terreno, oltre 80 siti da valanga con possibile interessamento di edifici (da piccole baite a infrastrutture alberghiere) e strade comunali. Altri enti (Veneto Strade, AVEPA) hanno identificato i nuovi siti valanghivi lungo la viabilità principale (strade regionali e provinciali). Questa distribuzione di competenze fra diversi Enti regionali è stata necessaria per far fronte, in tempi rapidi, alla emergenza che si è venuta a generale con la tempesta VAIA. L'evento ha anche creato altri importanti danni quali frane, erosione di argini, cancellazione di strade, inondazioni, crollo di tralicci dell'energia elettrica con interi paesi senza energia per più giorni, rottura di acquedotti, crollo di briglie selettive ed altro.

SVILUPPI FUTURI

Per la nuova emergenza valanghe che

si è venuta a creare sono stati organizzati dei sistemi di osservazione e controllo dei siti valanghivi nel caso di nevicate intense.

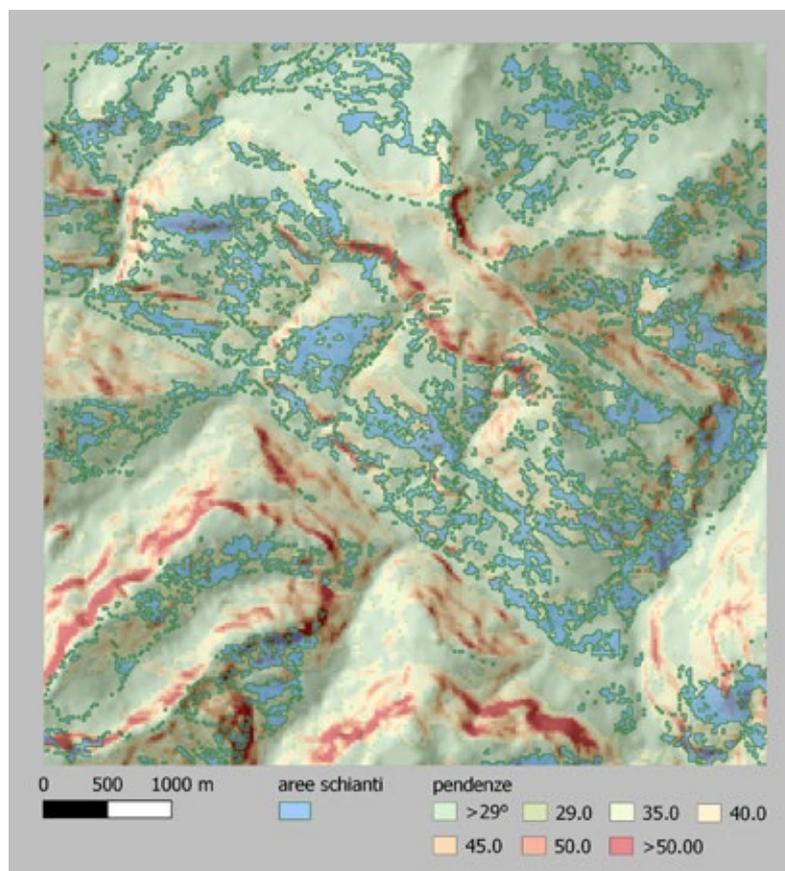
Inizialmente è stato fatto divieto (Linee guida della Giunta Regionale del Veneto per l'Asportazione del Legname e dei residui vegetali nelle aree da Schianti, atto del febbraio 2019) di recuperare il legname nelle aree a rischio valanghivo, per garantire una maggior scabrosità del terreno e quindi una maggior sicurezza per le valanghe. È stata definita un'altezza di neve al suolo di sicurezza massima di 1,20 m nella zona di distacco oltre la quale possono verificarsi delle valanghe (Martinelli e Menegus, 2018). Questo valore è stato determinato calcolando che l'ingombro degli alberi abbattuti sia di 1,20 m dalla superficie del terreno e svolgono quindi un'azione di "trattenimento" del manto nevoso. Questa altezza è stata combinata anche a meno del 50% della zona di distacco con gli alberi completamente sepolti sotto la neve. Oltre tale percentuale, in prima analisi è stato considerato che possono verificarsi delle valanghe (Martinelli e Menegus, 2018).

Parallelamente sono stati avviati studi di dinamica delle valanghe, con il modello di simulazione RAMMS (Christen et al., 2010), per comprendere la dimensione delle possibili valanghe con diversi tempi di ritorno.

Questo ha permesso di comprendere meglio quali elementi urbani (case, strade, etc.) possono essere interessati dalle nuove valanghe, con diversi tempi di ritorno in funzione della quantità di neve fresca al suolo e prevista, che necessitano temporaneamente di procedure di Protezione Civile fino alla messa in sicurezza del sito valanghivo con nuove opere di difesa dalle valanghe.

Nei prossimi anni, utilizzando la stessa metodologia di indagine da satellite, sarà possibile discernere fra le aree ancora con il legname a terra e dove il legname verrà rimosso. Con questo tipo di monitoraggio sarà possibile di-

Fig 15 - Particolare della Fig. 14. La carta delle pendenze derivata dal DTM con sovrainposte le aree interessate dagli schianti derivate dall'elaborazione delle immagini Sentinel 2



sporre rapidamente dello stato di avanzamento dei recuperi di legname e di salvaguardia dei siti da valanga dove il legname deve rimanere in sito fino alla realizzazione delle opere paravalanghe.

CONCLUSIONI

La tempesta VAIA ha generato notevoli danni a tutto il territorio montano e non solo delle Alpi orientali. La distruzione del bosco, oltre al danno alle foreste e la creazione di notevoli problemi per il recupero, ha generato la formazione di nuove aree valanghive per una estensione stimata di 800 ettari (Cagnati in Favero e Carniel, 2019) con l'interessamento di oltre 600 edifici. L'analisi del territorio montano, mediante le immagini Sentinel 2 con la metodologia specifica, ha permesso di avere un primo quadro della situazione di emergenza per le valanghe.

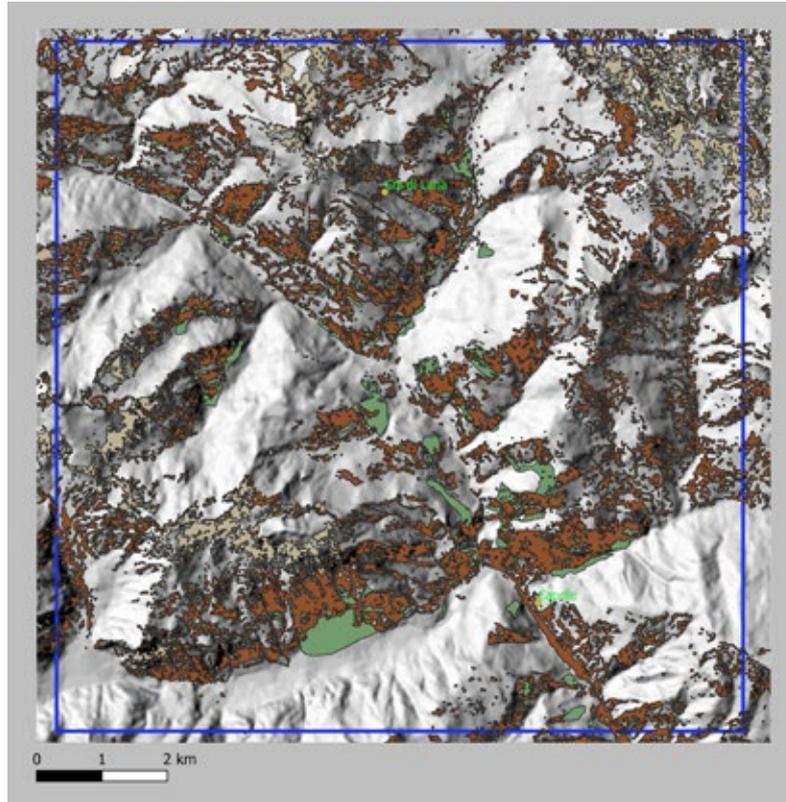


Fig 16 - Modello digitale del Terreno (DTM) con sovrainposte le aree interessate dagli schianti derivate dall'elaborazione delle immagini Sentinel 2A.

Bibliografia

- Aichner A., Oberlechner K., Pietrogiovanna M., Tonner J., Andriolo A., Oberkofler H., Maistrelli F., Agreiter A., Pernstich H. (2019). VAIA 2018 -Danni da maltempo e schianti da vento del 27-30.10.2018 in Alto-Adige. Ripartizione Foreste – IV. Report – 6 febbraio 2019, 58 pp
- Bebi, P., Kulakowski, D., Rixen, C. (2009). Snow avalanches disturbances in forest ecosystems – state of research and implications for management. *For. Ecol. Manage.* 257, 1883–1892
- Breien H. e Høydal O.A. (2013). Effect of high elevation birch forest on snow stability. *Proceedings of the International Snow Science Workshop, Grenoble-Chamonix Mont-Blanc.*
- Cambi M., Giannetti F., Bottalico F., Travaglini D., Nordfjell T., Chirici G., Marchi E. (2018). Estimating machine impact on strip roads via close-range photogrammetry and soil parameters: a case study in central Italy. *iForest* 11: 148-154. – doi: 10.3832/ifer2590-010 [online 2018-02-07]
- Cat Berro D., Acordon V., Castellano C. (2018). 27-30 Ottobre 2018: sciocco eccezionale, mareggiate e alluvioni in Italia con la tempesta "Vaia" SMI/Redazione Nimbus - 31 ottobre 2018 <http://www.nimbus.it/eventi/2018/181031TempestaVaia.htm>
- Chirici G., Giannetti F., Travaglini D., Nocentini S., Francini S., D'Amico G., Calvo E., Fasolini D., Broll M., Maistrelli F., Tonner J., Pietrogiovanna M., Oberlechner K., Andriolo A., Comino R., Faidiga A., Pasutto I., Carra-ro G., Zen S., Contarin F., Alfonsi L., Wolynski A., Zanin M., Gagliano C., Tonolli S., Zoanetti R., Tonetti R., Cavalli R., Lingua E., Pirotti F., Grigo-lato S., Bellingeri D., Zini E., Gianelle D., Dalponte M., Pompei E., Stefani A., Motta R., Morresi D., Garbarino M., Alberti G., Valdevit F., Tomelleri E., Torresani M., Tonon G., Marchi M., Corona P., Marchetti M. (2019). Stima dei danni della tempesta "Vaia" alle foreste in Italia. *Forest@* 16: 3-9. – doi: 10.3832/efor3070-016 [online 2019-02-15]
- Christen M., Kowalski J. e Bartelt P. (2010). RAMMS: Numerical simulation of dense snow avalanches in three-dimensional terrain, *Cold Regions Science and Technology*, 63, 1 - 14
- Dorigo G. e Tomaselli A. (2019). Comunicazione personale, atti interni ARPAV Centro Valanghe di Arabba
- Favero P., e Carniel S. (2019). C'era una volta il bosco. Hoepli, 278 pp ISBN: 9788820391881
- Frey, E. e Salm, B. (1990). Snow properties and movements in forest of different climatic regions. In: *Proc. XIX IUFRO world Congress, Montreal Canada, Div.1, Vol. 1: 328-339*
- Martinelli M., Menegus F. (2018). Piano straordinario di protezione civile per la gestione del rischio valanghivo nel Comune di Livinallongo del Col di Lana. Trento, 50 pp
- Margreth A., Bebi P. e Sovilla B. (2018). Danni alle foreste bellunesi. DAVS Istituto per la Ricerca della Neve e delle Valanghe di Davos SLF Davos. Documento interno. 8 pp
- Merzari M., Amicarelli A., e Lucchi S. (2018). Devastazione forestale sulle Alpi –Analisi meteorologica e aspetti forestali <http://www.meteo4.com/mt/index.php/reportage-mainmenu-34/710-devastazione-forestale>
- Motta R., Ascoli D., Corona P., Marchetti M., Vacchiano, G. (2018). Selvicoltura e schianti da vento. Il caso della "tempesta Vaia". *Forest@* 15: 94-98. – doi: 10.3832/efor2990-015 [online 2018-11-13]
- Regione del Veneto (2018) Relazione evento 27/10/2018 – 01/11/2018 Centro Funzionale Decentrato Prima stesura - 15/11/2018 Rev.01 Pubblicata - 11/01/2019 Pagina 1, 38 pp https://www.regione.veneto.it/c/document_library/get_file?uuid=094022ae-43e7-46b1-86d2-ff3ebf669b89&groupId=90748
- Roch A. (1980). Neve e valanghe. Ed. C.A.I. Milano, 140 pp
- Rüetschi M., Small D., Waser L.T. (2019). Rapid detection of windthrows using Sentinel-1 C-Band SAR data. *Remote Sensing* 11 (2): 115.
- UFAM (2008). Manuale relativo ai danni da tempesta. Aiuto all'esecuzione per far fronte ai danni alle foreste provocati da tempeste di importanza nazionale. Scelta della gestione dei danni nei singoli casi. Ambiente-Esecuzione n. UV-0801-I. Ufficio federale dell'ambiente, Berna. 3a edizione rielaborata, 247 pp
- Valt M., Salvatori R. e Salzano R. (2019). Mapping the effects of VAIA storm using Sentinel 2 data. *Geophysical Research Abstracts* Vol. 21, EGU 2019-6452, 2019 EGU General Assembly 2019

VALANGHE da SLITTAMENTO AFFRONTARE le BOCCHE di BALENA?

Christoph Mitterer

Servizio di Previsione
Valanghe del Tirolo
Innsbruck

Jürg Schweizer

Direttore del WSL Istituto per lo studio
della neve e delle valanghe SLF
Davos

GLIDE-SNOW AVALANCHES: ATTACK OF THE GLIDE-SNOW CRACKS?

The winter seasons 2008-2009, 2011-2012, 2017-2018 e 2018-2019 proofed particularly that glide-snow avalanches are still notoriously difficult to predict. Often, glide-snow cracks are precursor signals for glide-snow avalanches, but not every glide-snow crack necessarily evolves to an avalanche. In addition, the timing between glide-snow crack opening and the glide-snow avalanche release may vary from only a few minutes to several weeks. Conditions favouring glide-snow avalanche activity are commonly known. The most prominent prerequisite for glide-snow avalanche activity is a wet snow layer at the interface between soil and snowpack. Based on these different formation processes we can classify glide-snow avalanches into cold or warm-temperature events.

Our observations and measurements at our test site Dorfberg show that water may be produced at the interface atmosphere - snow and snowpack - soil. Conditions that produced water at the interface atmosphere - snow prevail mostly for a short span of time and depend on weather conditions: Enhanced melting or rain-on-snow events produce water which penetrates through the entire snowpack increasing glide-snow avalanche danger. Glide-snow avalanche danger will decrease as soon as weather conditions change, e.g. with spells of cold air.

Other processes, though, do not rely on meteorological conditions. For these cases, the processes driving the water production occur at the interface between soil and snow (heat exchange, capillary forces directed towards the snowpack). Once this wet basal snow layer is developed, it may remain active throughout weeks.

In summary, glide-snow avalanches based on warm-temperature events may be predicted on the conditions prevailing during melt and/or rain-on-snow events followed by a progressive penetration of water through the snowpack. This is not the case for glide-snow avalanches during cold-temperature events. Here, the only option for better predicting this type of avalanches is to survey the velocity of glide-snow crack opening.

Gli inverni del 2008-2009, 2011-2012, 2017-2018 e 2018-2019 hanno mostrato, come le valanghe da slittamento sono tra quelle più difficili da prevedere. Spesso una valanga da slittamento viene preannunciata da una bocca di balena, ma non ogni bocca di balena si traduce in una valanga. Il tempo che trascorre tra l'apertura di una bocca di balena e il distacco di una valanga può essere di solo pochi minuti, ma può protrarsi anche per diverse settimane. Le condizioni che possono favorire il distacco di una valanga da slittamento sono note. La più importante è rappresentato da uno strato lubrificante tra suolo e manto nevoso. A seconda di come si forma l'acqua presente in questo strato si parla di valanghe da slittamento calde o fredde. Le nostre osservazioni e misurazioni effettuate al Dorfberg mostrano, che la produzione di acqua può avvenire all'interfaccia atmosfera-manto nevoso. Le condizioni perché questo si verifichi si creano in un breve lasso di tempo: caldo o pioggia portano alla formazione di acqua, che penetrerà all'interno del manto, facendo aumentare il pericolo di valanghe da slittamento. Il pericolo torna a diminuire quando cambiano le condizioni di partenza, ovvero quando cambia il tempo, per esempio con il sopraggiungere di un marcato calo delle temperature.

Altri processi però non dipendono primariamente da condizioni meteo esterne. In questi casi i processi fondamentali avvengono tra l'interfaccia suolo manto nevoso (scambio di calore, risalita capillare dell'acqua dal suolo). Una volta che si è creato questo strato umido tra suolo e manto nevoso, è probabile che lo strato basale del manto rimanga umido anche per le settimane a seguire.

In sostanza le valanghe da slittamento calde possono essere previste in base a condizioni primaverili, pioggia e un progressivo inumidimento del manto nevoso. Questo non si applica alle valanghe da slittamento fredde. In questo caso l'unica opzione è tenere sott'occhio la velocità (accelerazione) dell'apertura della bocca di balena.



VALANGHE

Dicembre 2008, siamo in mezzo a una bocca di balena. Nevica e fa freddo. Ci avviciniamo per fare un profilo del manto nevoso sul lato superiore del punto di frattura. Improvvisamente il mio collega mi guarda dicendo „Senti anche tu questo scricchiolio?“ Prima di poter rispondere, l'intera lastra sotto la bocca di balena si stacca, precipitando a valle. Accidenti, cos'è successo?

Valanghe da slittamento hanno caratterizzato le stagioni invernali del 2008-2009, 2011-2012 e del 2018-2019 in tutto l'arco alpino. Specialmente nel 2011-2012 e nel 2018-2019 ci sono stati distacchi di grandi valanghe da slittamento durante quasi tutti i mesi invernali, che hanno messo in pericolo piste da sci, e singole case e colpito tratti di strade. Sui giornali regionali capitava di leggere di cadute in crepacci al di fuori dai ghiacciai. Sciatori che si erano recati fuori pista erano caduti nelle bocche di balena, potendo a volte liberarsi dalla situazione solo con l'intervento di un elicottero.

Passaggi nel bollettino valanghe che recitavano "Il distacco di una valanga da slittamento è possibile a qualsiasi ora del giorno e della notte e avviene normalmente in maniera spontanea," hanno sicuramente provocato qualche notte insonne ai membri delle commissioni valanghe. Per loro i periodi di forte intensità di valanghe da slittamento rappresentano una sfida particolare, in

quanto è praticamente impossibile prevedere con certezza quando una tale valanga si staccherà. A volte si staccano in maniera inattesa il giorno più freddo dell'inverno, altre volte il loro distacco viene preannunciato da una rapida espansione delle bocche di balena. Non sono riconoscibili nemmeno dei precisi andamenti giornalieri. Perché mentre molte valanghe da slittamento si staccano il pomeriggio, alcune invece sono cadute in piena notte. Ricapitolando si può dire che le condizioni per le valanghe da slittamento erano ideali in questi tre inverni. Ma cosa vuol dire ideale? Queste condizioni ideali possono essere identificate e predette?

Fin dal 1960 sono noti i requisiti principali per il manifestarsi di frequenti valanghe da slittamento:

- Una superficie di scorrimento liscia, rappresentata spesso da erba schiacciata o placche di roccia.
- Nevicata su suolo caldo, quindi o tardo autunno o inizio inverno.
- Molta neve e quindi un manto spesso (>1.5m) senza particolari strati deboli.
- Una interfaccia umida o bagnata tra il manto nevoso e il suolo.

Tramite diverse analisi di parametri meteorologici abbiamo tentato di fare luce su quali siano le condizioni meteo che favoriscono il distacco di valanghe da slittamento. Lo scopo era quello di identificare regole e misure general-

mente valide per la gestione di questo fenomeno. Tuttavia, ad oggi bisogna ammettere che non risultano metodi efficaci per prevederne il momento di distacco o causarne un distacco artificiale programmato. Le valanghe da slittamento rappresentano quindi un'oscura bestia indomabile oppure esiste uno schema che ne preannuncia il prossimo distacco?

COME FUNZIONANO LE VALANGHE DA SLITTAMENTO?

Già il nome è tutto un programma: una valanga da slittamento si forma tramite un accelerato movimento di slittamento dell'intero manto nevoso sul suolo sottostante. Le valanghe da slittamento si staccano spontaneamente. Tutto il manto scivola sul suolo sottostante. Contrariamente a quanto succede per le valanghe a lastroni bagnate o asciutte, le valanghe da slittamento non avvengono a causa della frattura in uno strato debole presente nel manto, ma a causa di una perdita di attrito tra il manto nevoso e il suolo sottostante. Questa perdita di attrito avviene ad opera dell'acqua, quindi il manto nevoso deve avere una base bagnata o umida.

Il rapido slittamento (da pochi mm fino a diversi cm al giorno) causa l'apertura di una crepa parallela al pendio, la cosiddetta bocca di balena. La porzione del manto slittata è di conseguenza appoggiata solo sul suo piede, mentre lateralmente la tenuta è scarsa. Il distacco della valanga a lastroni avviene poi in seguito ad un aumento del carico sul piede della porzione slittata a causa di un ulteriore slittamento, oppure se il piede perde di stabilità in seguito ad un cambiamento delle caratteristiche della neve.

Però non ogni bocca di balena porta al distacco di una valanga da slittamento. Specialmente se si verifica il cedimento del piede a causa di un ulteriore movimento di slittamento, è determinante la condizione dell'interfaccia tra neve e suolo. Di conseguenza è importante conoscere i processi che portano alla for-



mazione di una interfaccia neve-suolo bagnata o umida.

DA DOVE VIENE L'ACQUA?

Esistono almeno quattro processi responsabili per la formazione di un'interfaccia bagnata tra manto nevoso e suolo:

- Pioggia o acqua di scioglimento penetrano in tutto il manto. Il manto risulta essere isotermico a 0°C (Figura 1a).
- Dopo la prima nevicata il calore immagazzinato nel suolo viene trasferito al manto nevoso e di conseguenza si sciolgono i primi centimetri della base (Figura 1b). L'acqua di scioglimento rimane nei cm alla base.
- Recentemente è stato dimostrato che l'acqua nel terreno può essere risucchiata per via capillare e raggiungere i primi cm del manto nevoso. (Figura 1b).
- In prossimità di rocce scure può avvenire lo scioglimento del manto, la cui acqua può infiltrarsi lateralmente nel manto. Questo può succedere anche con acqua altrimenti presente sul pendio o nel suolo.

Il primo processo (a) avviene con condizioni meteo simili a quelle che si registrano quando si verificano valanghe a lastroni bagnate: l'acqua di scioglimento o della pioggia penetra nel manto nevoso, accumulandosi in corrispondenza del suolo che è meno permeabile. L'accumulo di acqua riduce l'attrito sull'interfaccia suolo-manto nevoso e favorisce così lo scivolamento della neve. Le valanghe per scivolamento che si distaccano dopo un periodo caldo o in seguito alla pioggia possono essere definite valanghe da slittamento calde. (Figura 2a). Per questo tipo di valanga per scivolamento esiste un chiaro collegamento tra le temperature alte e l'attività valanghiva. Durante l'inverno di forte attività di valanghe da slittamento 2011-2012 abbiamo osservato che al Dorfberg, sopra Davos, si erano aperte molte bocche di balena ed erano cadute molte valanghe per sci-

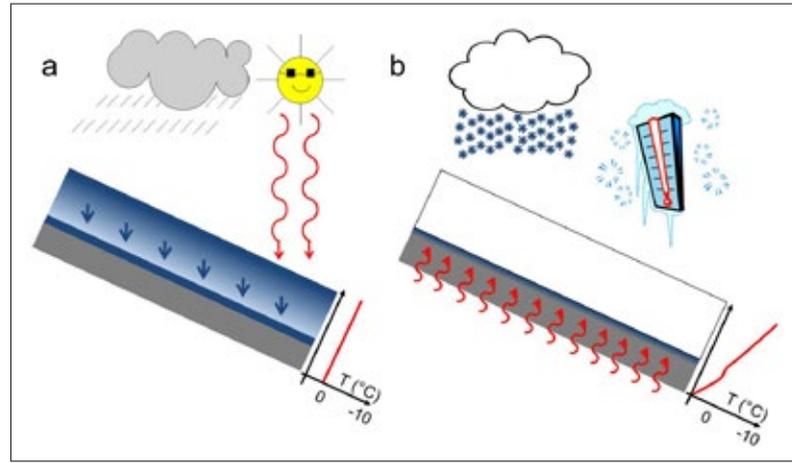


Fig. 1 - (a) Valanghe da slittamento calde: Tutto il manto nevoso è isotermico. L'acqua di scioglimento che si è prodotta in superficie oppure la pioggia penetrano nel manto nevoso. Quest'acqua si accumula all'interfaccia con il suolo, riducendo l'attrito. Questa situazione è tipica in primavera, in situazioni di irruzione di clima caldo, oppure in caso di pioggia. (b) Valanghe da slittamento fredde: le prime importanti nevicate della stagione coprono il suolo ancora caldo. Il calore del suolo viene ceduto agli strati basali del manto, producendo acqua di scioglimento. È anche possibile che l'acqua raggiunga la base del manto nevoso tramite processi capillari nel suolo. Gli strati superiori del manto sono freddi, con temperature nettamente sotto i 0°C. Questa situazione si verifica tipicamente ad inizio inverno.

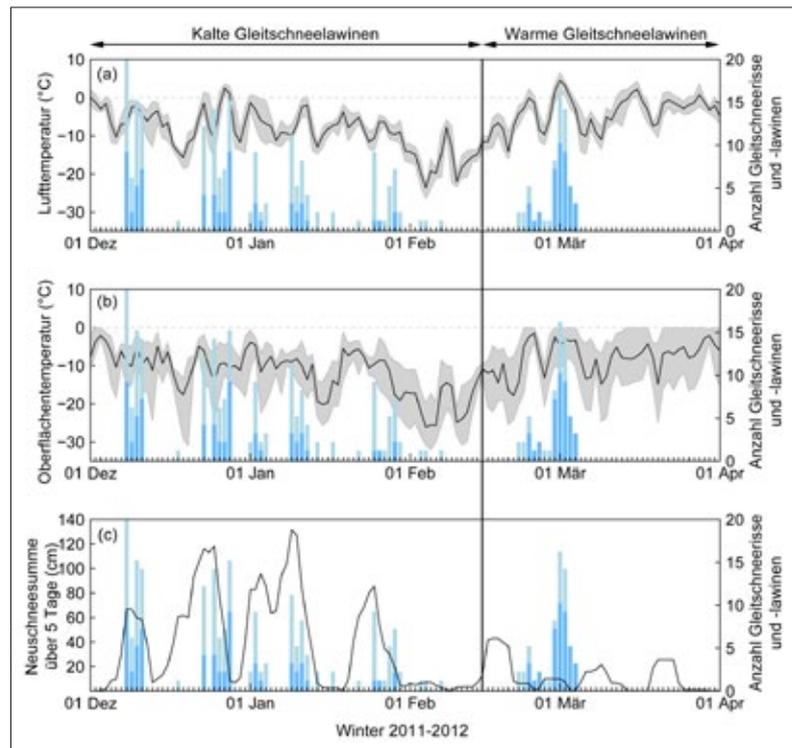


Fig. 2 - (a) Temperatura dell'aria e della superficie (b) temperatura della superficie misurata alla stazione del Dorfberg sopra Davos. La linea nera mostra la media giornaliera, e l'area grigia mostra i valori minimi e massimi di temperatura per ciascun giorno. (c) Somma giornaliera della neve fresca misurata a Davos. Le barre azzurre mostrano il numero di bocche di balena al giorno, mentre quelle blu il numero di valanghe da slittamento al giorno. Le bocche di balena e le valanghe da slittamento sono entrambe state misurate al Dorfberg durante l'inverno 2011-2012.

volamento proprio in corrispondenza del forte rialzo delle temperature di fine febbraio e inizio marzo. La temperatura era salita nettamente al di sopra dei 0°C (Figura 2a), riscaldando rapidamente la superficie del manto nevoso (Figura 2b). La temperatura della superficie del manto era poi rimasta a 0°C per diversi giorni, favorendo la comparsa di acqua liquida in superficie che era poi andata ad infiltrarsi fino al suolo. Questo ha fatto sì che l'attrito tra manto e suolo diminuisse, con conseguenti numerosi distacchi di valanghe da slittamento. Questo netto aumento delle temperature dell'aria e della superficie del manto non era stato, tuttavia, osservato durante i 5 periodi precedenti di forte attività di

valanghe per scivolamento, oppure era stato osservato solo in grado minore (Figura 2a). Le temperature si erano avvicinate agli 0°C ma il riscaldamento giornaliero dell'aria insieme all'effetto della radiazione solare non avevano abbastanza forza da permettere la formazione di acqua liquida sulla superficie del manto nevoso. Di conseguenza non c'era acqua che poteva infiltrarsi nel manto nevoso e raggiungerne la base. Inoltre, il manto nevoso era ancora freddo, ovvero, sotto gli 0°C. Da questo si può desumere che l'interfaccia tra suolo e manto nevoso si sia bagnata a causa dell'acqua proveniente dal suolo (Processi b e c, Figura 1b). Le valanghe da slittamento che si verificano in que-

Fig. 3 - Attenzione! Il distacco può verificarsi anche a monte della bocca di balena



sta maniera vengono definite fredde. In questi casi la causa era stata il suolo caldo che aveva fatto sì che i centimetri basali del manto si inumidissero. Oppure, il movimento di acqua capillare dovuto a una differenza di pressione aveva permesso la risalita di acqua dal suolo, interessando i centimetri basali del manto. È difficile determinare quale di questi due processi sia stato quello dominante. Di rilievo è anche il fatto che l'attività di valanghe da slittamento fredde è strettamente collegata con ingenti quantità di neve fresca (Figura 2c). L'apporto di neve fresca aumenta il peso del manto e di conseguenza la forza che lo fa scivolare più rapidamente verso valle.

OGNI BOCCA DI BALENA TERMINA CON UNA VALANGA DA SLITTAMENTO?

Generalmente non si può prevedere se e quando una bocca di balena si traduce in

una valanga da slittamento. La nozione per molto tempo diffusa, che un pendio sotto una bocca di balena sia sicuro, è sbagliata. È però vero che in presenza di bocche di balena, non si trovano evidenti strati deboli all'interno del manto. Spesso valanghe da slittamento si staccano sotto ad una bocca di balena e quindi è buona prassi valutarle con occhio critico. Tuttavia, riprese in time lapse del Dorfberg (Figura 3) mostrano che le valanghe da slittamento possono staccarsi anche al di sopra di una bocca di balena, ragione per la quale anche la zona a monte può risultare pericolosa. L'analisi delle valanghe da slittamento al Dorfberg degli inverni 2008-2009 e 2011-2012 mostra che c'è una leggera tendenza di un'attività valanghiva maggiore durante le ore centrali della giornata e durante il pomeriggio. Questo riguarda specialmente le valanghe da slittamento calde. D'altro canto, è stato osservato un numero simile di valanghe

verso sera e durante la notte, in questo caso prevalentemente valanghe da slittamento fredde.

Dato che le valanghe da slittamento avvengono in seguito a un movimento accelerato per scivolamento del manto nevoso, abbiamo provato a misurare l'accelerazione usando le immagini del Dorfberg. A conferma di questo abbiamo potuto constatare che le bocche di balena che si espandevano a velocità costante raramente portavano a valanghe da slittamento (area grigia in Figura 4). Se, invece, c'era un'accelerazione nell'apertura della bocca di balena, spesso si verificava una valanga da slittamento (area arancione e rossa in Figura 4). Tuttavia, non è stato possibile determinare il momento esatto del distacco (linea tratteggiata in Figura 4).

COME POSSIAMO GESTIRE IL PERICOLO DI VALANGHE DA SLITTAMENTO?

Nel caso di valanghe da slittamento calde il progressivo inumidimento del manto nevoso è un chiaro segnale per un aumento della propensione del distacco. Un aumento delle temperature e dell'incidenza della radiazione solare ne possono essere un indicatore. Quando le temperature dell'aria e della superficie del manto restano per un periodo prolungato sopra gli 0°C è probabile un aumento di distacchi di valanghe da slittamento. Per quanto riguarda le valanghe da slittamento fredde non esiste un pattern meteo evidente che

ne preannuncia il distacco. Dato che è difficile provocare il distacco artificiale, programmato o no, di valanghe da slittamento, esiste solo un modo per ridurre il rischio: evitare le zone che presentano bocche di balena o ridurre la permanenza in queste zone al minimo.

Questa misura è molto facile da applicare per uno scialpinista. Per i servizi di prevenzione locali, questa misura per minimizzare il rischio non è veramente utile, dato che a inizio inverno bocche di balena aperte possono perdurare per settimane al di sopra di strade o piste da sci, senza che sia tuttavia applicabile la chiusura di esse per un periodo di tempo così prolungato. In questi casi esistono solo due possibilità: o si tenta di provocare il distacco togliendo il piede di supporto al di sotto della bocca di balena (molto rischioso), oppure si prova a misurare l'accelerazione nell'apertura della bocca di balena. Questa seconda opzione può essere fatta tramite una

webcam oppure tramite un metro di misura. Se viene registrata un'accelerazione nell'apertura della bocca di balena, allora si può supporre un prossimo distacco di una valanga da slittamento e quindi chiudere la strada o la pista in maniera mirata. Tuttavia, non è comunque possibile determinare il momento esatto del distacco.

Bibliografia

- Jones, A., 2004. Review of glide processes and glide avalanche release. *Avalanche News*, 69: 53-60.
- Newesely, C., Tasser, E., Spadinger, P. and Cernusca, A., 2000. Effects of land-use changes on snow gliding processes in alpine ecosystems. *Basic and applied ecology*, 1: 61-67.

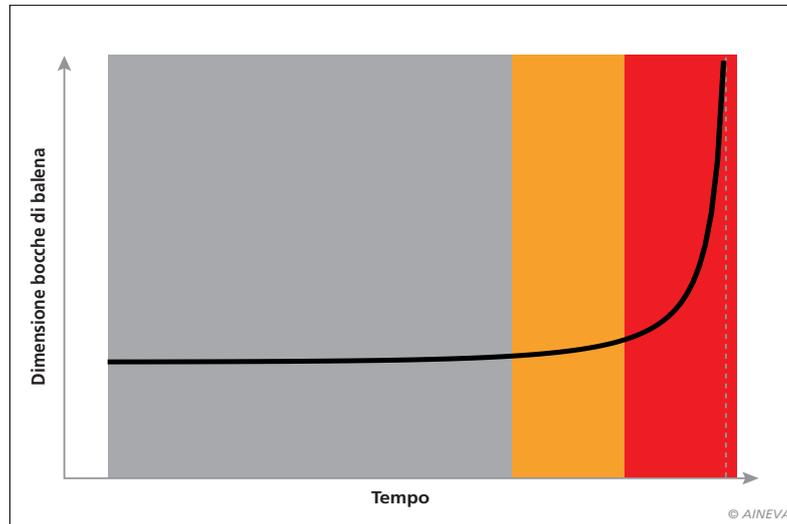


Fig. 4 - Se la bocca di balena si apre in maniera costante (area grigia), allora il distacco di una valanga da slittamento è improbabile. Se l'apertura è accelerata, allora il distacco di una valanga da slittamento diventa progressivamente più probabile (area arancione e rossa). Il momento esatto del distacco (linea grigia tratteggiata), non può, tuttavia, essere determinato.



EVENTI VALANGHIVI STORICI a VALDISOTTO DALLE CRONACHE DEI GIORNALI

Anna Lanfranchi
Centro Studi Storici Alta Valtellina (SO)
anna.lanfranchi@cmav.so.it

HISTORICAL AVALANCHE EVENTS IN VALDISOTTO from newspapers' reports

Despite commonplaces, environmental disasters have always existed and have always caused grief and ruins. What we read in the pages of some vintage newspapers make us relive the atmosphere of three avalanches that in the twentieth century affected Cepina Valdisotto and its neighbouring hamlets, with a description of their pernicious effects and damages caused to population. Following those events, the first rudimentary defence works were built and people also began to better study correlation between tree clearing and landslides/avalanches.

The vision of avalanches, as described by Attilio Pelsoni, conveys a detailed knowledge of the two avalanche types: spring flowing avalanches and powder avalanches typical of winter, the two events being perceived in a different way by the ungulates that live in the mountain.

A dispetto dei luoghi comuni, i disastri ambientali sono sempre esistiti e hanno sempre causato grandi lutti e rovine. Attraverso le pagine dei giornali d'epoca si rivive l'atmosfera di tre valanghe che nel corso del Novecento hanno interessato l'abitato di Cepina Valdisotto (SO) e le frazioni limitrofe, delle quali vengono descritti gli effetti nefasti e i danni causati alla popolazione. In seguito a tali fenomeni si attivarono le prime rudimentali opere di difesa e si cominciò anche a studiare meglio la correlazione tra disboscamento e scivolamento a valle delle masse di terra/neve.

La visione delle valanghe, descritta da Attilio Pelsoni, esprime una conoscenza dettagliata dei due tipi di valanghe: quella radente primaverile e quella nubiforme tipica dell'inverno, con la differente percezione dei due eventi da parte degli ungulati che popolano le pendici montane.

sedici sci-alpinisti saliti al rifugio Ma- per la organizzazione del Bernina hanno intorno a valle. Erano bloccati giovedì nella panna per la presenza di tre metri di neve: due schiarite sono riuscite a trovare un varco e a scendere fino a Campo Moro. L'altra slavina è scesa, e si è bloccata in Valmalenco sulla strada per Chiareggio bloccando le comunicazioni con questa frazione di Chiesa Valmalenco. La slavina, scesa in località Corte non ha comunque arrecato danni alle abitazioni. Oltre a Chiareggio, in Valmalenco, è rimasto isolato anche il piccolo centro di Primolo, sopra Chiesa Valmalenco.



(foto Giorgio)

Infatti mercoledì si è verificata una serie di blocchi stradali a causa del maltempo e delle slavine. E' stata chiusa a titolo precauzionale la strada del Foscagno al km. 12 nel comune di Valdisotto e pertanto non si accede a Livigno.

La Valanga della Vallaccia è giunta a pochi metri da Cepina.



INTRODUZIONE

Valanghe funeste hanno attraversato tutta la storia dell'Alta Valtellina (SO), dai distacchi spontanei che travolgevano i viandanti sino alle devastanti slavine causate dai feroci disboscamenti dell'Otto-Novecento. La valanga era un evento imprevedibile che rientrava fra i potenziali pericoli della montagna, come ben sa ogni buon abitante delle vallate alpine, e quando accadeva ci si rimboccava le maniche accettando l'ineluttabile. I passi alpini, aperti tutto l'anno, erano pericolosissimi da novembre sino a giugno e non era raro che vi perissero uomini e animali. Non meno micidiali erano le slavine che si abbattevano sulle frazioni e i centri abitati, dove spesso facevano strage di tutto quel che incontravano. Le slavine, tuttavia, potevano anche rappresentare una fonte insperata di reddito grazie al legname che vi si poteva ricavare e che veniva messo all'asta dai comuni.

Dall'esame dei giornali locali pubblicati tra la fine dell'Ottocento e l'inizio del Novecento ho estrapolato alcuni significativi eventi valanghivi registrati in comune di Valdisotto (SO); ciò che più colpisce è che le conseguenze non sempre erano proporzionate al volume della valanga: a volte un piccolo smottamento fu in grado di generare più sconquassi che non un grosso scoscendimento.

Una slavina che lasciò sicuramente il segno fu quella di sabato 14 aprile 1917.

LA SLAVINA DEL 14 APRILE 1917

Sabato 14 aprile 1917, verso le ore 13, precipitò a valle sulla via Nazionale, ap-

pena dopo il ponte di Cepina, recando con sé un ammasso di sassi, macigni, pietre, legname e neve. Fu vista scendere dal rottero¹ Cesare Confortola, che mise subito in allarme gli altri carrettieri e viaggiatori in transito: a malapena si salvarono, tranne il povero medico condotto dottor Giuseppe Clementi², che venne colpito *alla nuca e alla tempia*, spirando sotto la rovina. Invero, non si trattò di una grossa valanga, tanto che i soccorsi non dubitavano di estrarlo sano e salvo; ma la sorte non fu benigna e il dottore fu trovato *sotto un carro sfasciato, con la testa reclinata sulle ginocchia*. La costernazione della comunità fu enorme: il dottor Clementi stava rientrando in bicicletta dopo aver compiuto il suo giro di visite sino a S. Antonio Morignone e fu rimpianto da tutta la vallata come persona benevola e stimata.

Nel 1918 scese una valanga in località Vallaccia, fortunatamente senza produrre danni, che portò a valle circa 1500 mc di legname.³

LA SLAVINA DEL 7 GENNAIO 1919

Ancora Cepina viene scossa da un altro evento valanghivo, questa volta di dimensioni ben più devastanti, che piombò alle prime luci del 7 gennaio 1919 sulle frazioni di Pozzaglio, Valcepina, Pedemonte, Martinelli.⁴ La violenza d'urto asportò il tetto dell'albergo Piccagnoni⁵ e distrusse le vetrate della veranda; fu sventrata la casa recentissima dei fratelli Bracchi⁶; anche la chiesa e altre case private subirono danni rilevanti. Così la descrizione: *Porte e finestre si aprivano, si frantumavano, un vento impetuoso invadeva tutte le case asportandone le tegole e scuotendole come per un terremoto, un nevischio sottile copriva ogni cosa*. (vedi estratto giornale) Case scoperte, stalle, locali e cantine pieni di neve, abitanti sepolti nel letto, fortunatamente solo da neve e non da macerie... un quadro desolante...

Sotto accusa finì il pesante disboscamento (dovuto anche alla guerra per soddisfare le esigenze dei soldati), che

– a detta dei giornali – stava trasformando la vita invernale degli abitanti di Cepina in un incubo. *Si direbbe che le valanghe degli anni precedenti, quasi assecondando l'opera inconsulta dell'uomo, abbiano provveduto a completare il disboscamento onde prepararsi un terreno propizio ad una facile rovinosa discesa verso il piano*. A Valdisotto, in modo particolare, gli abitanti vivevano terrorizzati nell'attesa di due voluminose frane che minacciavano l'abitato in situazioni di grandi nevicate o di piogge molto abbondanti: quella di Valle Cepina e quella di Boer, *ove purtroppo durante questi anni di guerra i boschi che erano buona difesa vennero di molto diradati*.

LA SLAVINA DEL 16 MAGGIO 1926

Le funeste previsioni si avverarono un decennio dopo e nemmeno la costruzione di un poderoso muraglione di contenimento riuscì a fermare la forza distruttrice della natura: domenica 16 maggio 1926, dopo una pioggia ininterrotta di 3 giorni, alle ore 14 *mentre la popolazione si riuniva per le seconde funzioni religiose* si staccò una valanga dalla cima del monte Boerio⁷ che, ingrossandosi e travolgendo ogni sorta di materiale, atterrò a valle ostruendo completamente l'Adda e seppellendo per 200 mt la strada nazionale. Si fermò per miracolo alle prime case di Cepina, in contrada Molini⁸, senza fare vittime ma minacciando un'esondazione per l'innalzamento repentino dell'Adda a formare un lago melmoso, tanto che il parroco *corse in chiesa, prese il Santissimo già esposto e uscì col popolo in preghiera e in lagrime a benedire*. Il provvidenziale abbattimento di una casa consentì all'acqua di avere il suo sfogo, che proseguì imperioso sino ad asportare 4 case con l'intero mobilio, la centralina elettrica che riforniva il paese, la segheria, un macchinario per la lavorazione del legno e i mulini con tutte le granaglie dei privati che ivi giacevano. Fu una catastrofe per le attività produttive locali, che furono annientate e gettarono sul lastrico alcune operose

famiglie, come quella di Luigi Colturi⁹, padre di 10 figli, di Lia Valzer¹⁰, di Bracchi Giuseppe e delle sorelle De Gasperi¹¹. Si calcolò un danno di circa mezzo milione di lire subito da questi poveri nuclei familiari, senza contare l'emergenza in cui fu gettata la popolazione che usufruiva della loro attività (la borgata di Cepina restò senza luce per circa un mese!). Ancora una volta il disboscamento entrò sotto la lente dei critici, che attribuivano il disastro alle scellerate politiche forestali e paventavano scenari da panico. Anche per questo motivo, quando vent'anni dopo prese forma l'ipotesi di una servitù boschiva in favore della società Montecatini per la realizzazione di un elettrodotto nei boschi di Boer, Oltoir e Profa, ci fu una sollevazione contro il progetto, soprattutto a causa del timore delle valanghe. *Sul solo tratto Piazzistuolo-Tola sono ben sei canali (o Rezz) che ogni anno ci regalano delle valanghe o delle frane*, citava l'articolaista del Corriere, per poi ammonire *Guai se questo tratto dovesse venire esboscato! Micidial sei tu se legno tronchi*, ammoni-

va il cronista dalle colonne del giornale... insomma, si faceva strada una presa di coscienza collettiva sulla necessità di tutelare e di prendersi cura del patrimonio boschivo, cosa di cui ancora oggi ci sarebbe un gran bisogno.

A metà Novecento il prof. Bruno Credaro¹² interveniva autorevolmente sul fenomeno delle valanghe, discettando sulla natura dei termini (valanghe o slavine?) ma soprattutto esortando sulla necessità di preservare il bosco: *La difesa principale contro questo flagello è data dal bosco che impedisce lo slittamento iniziale della neve*, anche se non scongiurava del tutto il pericolo, *perché se una valanga si stacca sopra il limite delle piante, allora niente la può fermare*. Si trattava perlopiù di suggerire una serie di interventi o meglio, di buone pratiche, da adottare per ridurre al minimo i rischi legati alle valanghe: rimboschimento, divieto di tagli inconsulti, muraglioni e palizzate paravalanghe. Negli stessi anni qualcuno azzardò persino un'ipotesi che oggi viene comunemente utilizzata in molte aree a rischio: a Ce-

pina nel 1951 si pensò di far intervenire l'artiglieria per causare il distacco della massa nevosa che minacciava l'abitato, *ma poi l'idea è stata scartata per l'impossibilità di essere certi della direzione della massa nevosa e per non correre il rischio di provocare danni maggiori*. Di lì a poco sarebbero iniziati anche i primi corsi antivalanghe ad opera del neonato Soccorso Alpino.¹³



Note

¹ Rottero = erano così chiamati gli stradini assunti per la manutenzione delle strade, perché il loro lavoro consisteva nel "rompere" le nevi sui percorsi di montagna (dal latino "ruptus", rotto, deriva la forma dialettale "rotter").

² Giuseppe Clementi (1877-1917), figlio di Siro e di Giuseppina Urbani era sposato dal 22 marzo 1906 con Pierina Castellazzi, maestra. Nel 1905 aveva assunto la condotta di Valdidentro e poi quella di Valdisotto. Ebbero la figlia Lucia Dorotea Caterina (24/12/1906). La vedova si risposò nel 1920 con l'ispettore del Registro Carlo De Donatis e visse sino al 1958, mentre la figlia Rina, maestra a Sondrio, perì nel dicembre 1938.

³ La zona della Vallaccia, al di sopra dell'abitato di Cepina e in vicinanza delle piste da sci, è nota per essere sede di numerosissimi fenomeni valanghivi, anche dalle tragiche conseguenze. Per tale motivo nei mesi invernali vige il divieto più assoluto di fuori pista nei suoi dintorni.

⁴ Frazioni di Valdisotto situate nel tratto Zola e Cepina più o meno in corrispondenza dell'attuale via Dosso della Benedizione, sulla destra orografica dell'Adda e con ordine geografico Valcepina, Pozzaglio, Martinelli e Pedemonte.

⁵ La parte più antica dell'attuale Hotel Cepina.

⁶ Rustici ristrutturati a nord del comune. Cfr. *Inventario dei toponimi di Valdisotto*, 2003.

⁷ Cima rocciosa posta sopra l'abitato di Cepina, sulla sinistra orografica dell'Adda, i cui fianchi sono segnati da numerose vallette di scolo.

⁸ In realtà si trattava della località *Molinàc*, zona boschiva ai piedi del Boer; il dispregiativo stesso lascia intuire una zona soggetta a disastri. *Inventario dei toponimi di Valdisotto*, 2003.

⁹ Luigi Colturi si manteneva grazie a macchinario

per la lavorazione del legno e a quello che forniva elettricità al paese.

¹⁰ Valzer Lia possedeva due mulini.

¹¹ Le sorelle De Gasperi possedevano un mulino.

¹² Nipote del senatore Luigi Credaro, nacque a Sondrio il 2 settembre 1893. Si laureò all'Università di Pavia nel 1920. Insegnò filosofia e pedagogia nell'Istituto Magistrale di Sondrio, del quale divenne Preside. Fu quindi Provveditore agli studi della provincia di Sondrio, fino al 1962. Suo massimo impegno fu quello di migliorare e potenziare la scuola e si batté per ottenere il prolungamento dell'istruzione obbligatoria. Si interessò vivamente a tutte le attività culturali ed economiche della provincia, ove rivestì cariche di alta responsabilità, oltre a quella di provveditore. Innamorato della sua Valle, la conobbe come pochi altri e cercò di farla conoscere e amare, tenendo conferenze, partecipando a convegni, scrivendo saggi, guide e libri di grande efficacia. Morì a Sondrio il 28 maggio 1969. (LEONI B., *Piccolo dizionario biografico dei valtellinesi e valchiavennaschi*, in: "La mia provincia", Sondrio, Banca Popolare di Sondrio, 1974). Fonte: www.cartedifamiglia.it

¹³ Nel Bormiese il primo nucleo organizzato di Soccorso Alpino prese forma nel gennaio 1956, al rientro di un gruppo di guide alpine dal corso antivalanghe di Davos. Il gruppo prese ad operare nella stessa estate in opere di salvataggio e ricupero di salme in disgrazie avvenute sulle nostre montagne. Capo soccorso era stato nominato Dorio Fava, perito agrario e guida alpina, che aveva già partecipato a numerosi corsi sulle valanghe. Il 2 dicembre 1956 si tenne la prima esercitazione pratica di salvataggio e di soccorso alpino nelle località La Rocca e Ciuk sulle piste di Bormio, dove il Soccorso Alpino iniziò ad operare.

La valanga

Il dr. Attilio Peloni, originario di Bormio, era un appassionato cacciatore e durante i suoi lunghi giri in cerca di prede si era più volte imbattuto nelle nefande conseguenze delle valanghe. Ecco le sue impressioni.

Quando vedete l'animale schiantato dalle immani forze della natura, il pigmeo vinto dal gigante, vi coglie un'ambascia diversa e sentite quasi una solidarietà commossa per questa fragilità dell'essere animato contro la brutalità delle cose. Ciò avviene se, inoltrandovi dal candore immacolato di un pianoro verso l'insidia cupa di una valanga, vi soffermate là dove alberi divelti e rami spezzati e macigni pericolanti punteggiano il percorso di una «slavina»: fra l'angosciante rovina, o in prossimità di questa, trovate i resti di uccellini, coturnici, pernici bianche, lepri che furono sorpresi nel rifugio o travolti dal Turbine e sbattuti contro le rocce!

La valanga primaverile, pesante, lenta, preavvertita da particolarità di temperatura e di pressione, risparmia quasi sempre gli animali: questi per sottile istinto ne avvertono la prossima minaccia dall'atmosfera greve, per acuto orecchio percepiscono il primo scricchiolio del ghiaccio che si incrina, o il sordo rumore della massa che si stacca sulla pendice. E allora è un fuggire a muso teso e i muscoli scattanti verso i fossi più sicuri, o un volo pronto e rapido verso le cime.

Invece la «slavina» molto meno imponente e paurosa ma improvvisa e feroce come uno scherzo maligno della natura, precipita in giornate fredde e si accompagna ad un vento impetuoso (il così detto «orif») che precede avvincente travolge e stranca tutto quanto si trovi sul suo cammino tragicamente capriccioso e mutevole! Così: in un polverio accecante di neve secca e polverosa e di ghiaccio frantumato precipitano il soldato colto nell'ardua corvée, il contrabbandiere gravato dal carico, il pastore che ha indugiato ad abbandonare la sua baita, il cacciatore che si è avventurato fra i diripi, così si inabissano mammiferi ed uccelli della montagna! Anche il camoscio, avvaduto e scaltra, organizzato contro le insidie della vita ad altissima quota, il camoscio che si difende istintivamente dai pericoli di un ghiacciaio crepacciato e sfugge valloni in cui la neve si addensa, aggirandoli, che muovendosi in branchi obbedisce con disciplina alla guida di una femmina ricca di età e di esperienza, che in gruppo numeroso esegue un magnifico ordine sparso (la pista unica e lineare provocherebbe il taglio e lo slittamento della neve) anche il camoscio è vittima della «slavina».

Lo sdegnoso dominatore delle vette si inabissa nel vortice e giace, per sempre celato agli uomini o riemerge a primavera al primo scrosciar d'acque, al primo rinverdire di muschi, pietosamente irrigidito - talvolta mummificato - nella contrazione estrema delle sue agili membra.

27 FEBBRAIO 1888

LA VALANGA

di AVIEIL

LA MEMORIA

STORICA

RECUPERATA

Simone Roveyaz

Corpo forestale della Valle d'Aosta
Dipartimento risorse naturali e corpo forestale
Regione Autonoma Valle d'Aosta
loc. Grande Charrière 6/A
11020 Saint-Christophe (AO), Italy

Andrea Debernardi

Ufficio neve e valanghe Valle d'Aosta
Fondazione Montagna sicura - Montagne sûre
Località Amérique, 33
11020 Quart (AO), Italy

The definition of "historical phenomena" includes the avalanches that in the past gave rise to catastrophic events, causing significant damage to local communities, often also in terms of human lives. These avalanches have been occurring very little for many years or no longer arise. They are so little known and their historical memory is being lost.

Making public the phenomena of this kind is useful not only to illustrate the method of historical research work of the Regional Avalanche Cadastre, but above all to keep alive the memory and awareness of these phenomena, of which in the future we cannot predict if they can or no recur again with similar dimensions and destructive capacity.

The phenomenon described in the following pages falls within the territory of Arnad, a municipality that is not subject to avalanche problems but that in the terrible winter of 1888 was the site of numerous avalanches, some of which had serious consequences. On all the Alps that winter there were disasters related to heavy snowfall. In fact, of the information that has reached us, only in Valle d'Aosta during the month of February, 30 avalanches reached the valley bottom, hit many other inhabited areas, made 34 victims.

Alcune valanghe che in passato hanno dato luogo a singoli eventi catastrofici risultano in definitiva poco o per niente conosciute.

Per questo motivo, recuperare e conservare la memoria storica di questi eventi calamitosi può risultare importante per affinare le cartografie relative al pericolo valanghe, fondamentali per garantire una corretta pianificazione territoriale. Proprio per questo motivo l'Ufficio Neve e Valanghe si impegna a fare ricerche e sopralluoghi questi siti valanghivi poco conosciuti.

Lunedì 27 febbraio 1888 tra le ore 9.00 e le 10.00, dopo alcuni giorni molto nevosi, una grande valanga si distacca dall'ampio pendio meridionale compreso tra il Mont-Chizzagne e la Cime-Granla, andando a raggiungere e distruggere il villaggio di Avieil (Comune di Arnad). Il fenomeno descritto nelle pagine seguenti ricade nel territorio di Arnad, Comune posto lungo la Valle Centrale della Valle d'Aosta, poco soggetto a problematiche valanghive ma che nel terribile inverno del 1887-1888 fu teatro di valanghe eccezionali, alcune delle quali hanno causato lutti e distruzione. Su tutto l'arco alpino quell'inverno fu costellato di disastri legati alle copiose nevicate. Basti pensare che, dalle informazioni che sono giunte fino a noi, solo in Valle d'Aosta durante il mese di febbraio ben 30 valanghe raggiunsero i fondovalle antropizzati, causando la morte di 34 persone.

COMANDO MILITARE
DELLA
FORTEZZA DI BARD

Bard, addì 7. Marzo 1888

N.º 1311 di Protocollo

Risposta alla lettera
della corrente N.º
Divisione Sezione

Oggetto

Stato sull'alterra della
neve e sulle valanghe cadute
nelle vicinanze di Bard

Carte annesse N.º 1 nota

A/ Signor
Direttore Generale dello
osservatorio meteorologico
Centrale di

Moncalieri

A denuncio di buon grado alla
domanda fattami dalla S. V. (colla lettera
della corrente), mi faccio una doverosa pre-
mura di esporle quelle poche notizie che
sono a mia conoscenza riguardanti l'alterra
della neve caduta e le valanghe che si sono sca-
tenate nelle vicinanze di questa fortezza.

La neve caduta qui al forte essendo
stata misurata giornalmente si ha un'alterra
totale di metri 1,90 di neve caduta dal 14
al 27 febbrajo incluso.

Siccome però il 26 è piovuto molto
da formare 42 m.m. d'acqua, la neve il
giorno 28 era ridotta ad un'alterra totale
di circa 40 centimetri.

Nella cresta del monte Carogné sopra
il disabitato Villaggio Arnel, la neve aveva
il 28 l'alterra di circa 3 metri, come venne
erano circa 3 metri nelle vicinanze di Font
Boret; ma fui assicurato che a
Champorcher la neve raggiunse il 28 la
alterra di circa 4 metri, di stette privi
di notizie di questo paese, fintanto che dopo
due giorni di fatiche improbe i carabinieri
con molti borghesi riuscirono a percorrere
la difficilissima strada.

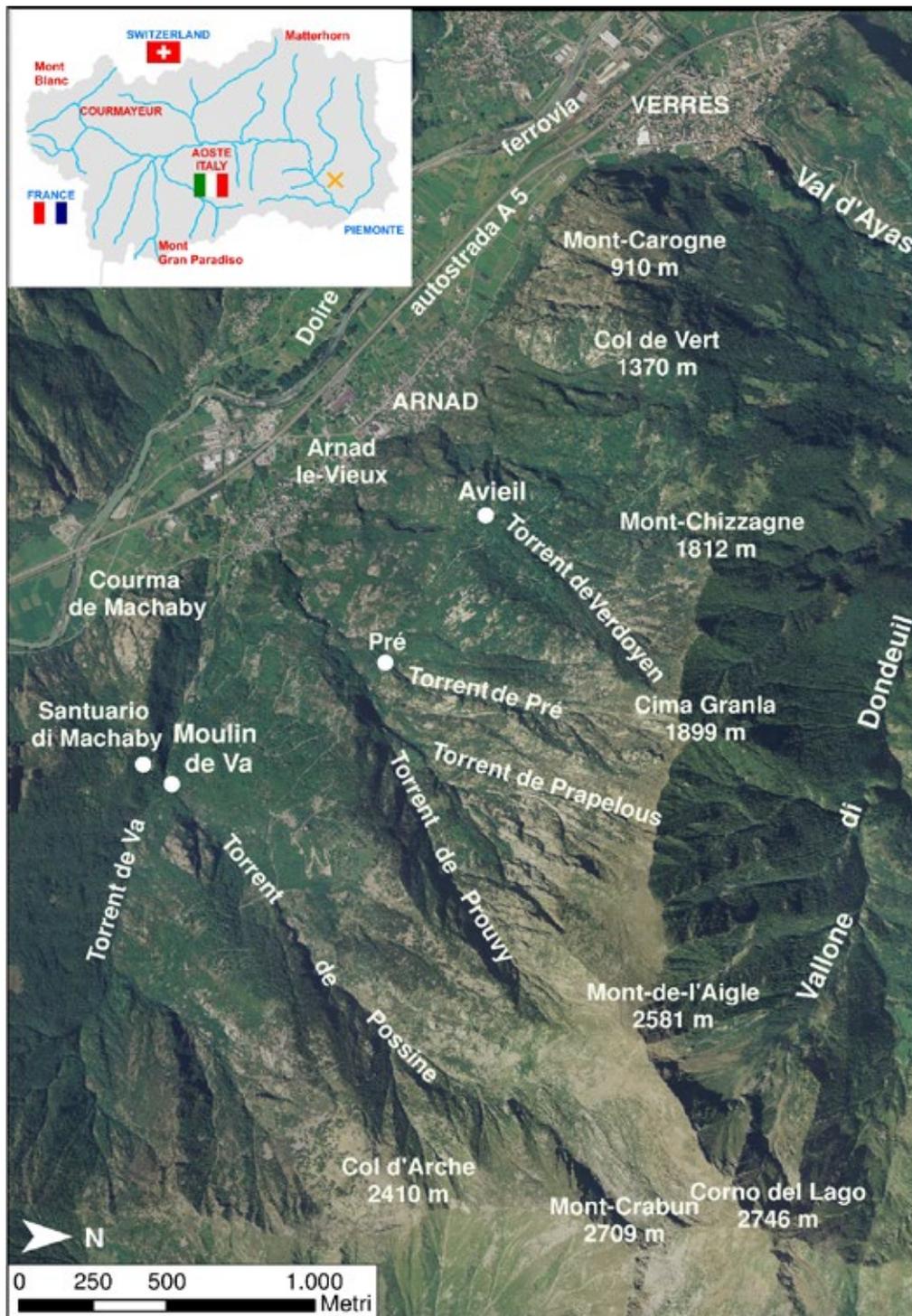


Fig. 1- Estratto cartografico dell'area oggetto d'indagine.

INTRODUZIONE

Dalle cronache del 1888 (opere letterarie, periodici dell'epoca, testimonianze orali, archivi storici locali) è stato possibile ricostruire la dinamica dell'evento valanghivo di Aviel che ebbe un bilancio molto pesante: 13 sono state le persone travolte, di cui 2 feriti e 11 vittime.

Per la ricostruzione cartografica del nucleo principale del villaggio, prima e dopo l'evento valanghivo, e delle successive fasi di restauro ed eventuale

delocalizzazione degli edifici, sono state analizzate nel 2011 le mappe prodotte Ufficio Catalogo e archivi iconografici e documentali (Dipartimento Soprintendenza per i beni e le attività culturali dell'Assessorato del Turismo, Sport, Commercio, Agricoltura e Beni culturali). Dall'incrocio dei dati a disposizione si è capito come, nel primo decennio successivo all'evento valanghivo, gli abitanti abbiano attuato una strategia preventiva dislocando i nuovi edifici nelle zone non

raggiunte dalla massa nevosa.

Al contrario, con l'ulteriore ampliamento urbanistico avvenuto ad Aviel dal 1945 ad oggi, si è tornati a edificare anche in quelle aree interessate nel 1888 dall'evento valanghivo. L'analisi di queste mappe unite alla ricostruzione della dinamica dell'evento valanghivo ha permesso di aggiornare la cartografia del fenomeno valanghivo.

Poiché sia all'interno del catasto valanghe regionale sia nell'ambito della cartografia del rischio la perimetrazione risultava molto sottostimata, non includendo il nucleo abitato storico, questo studio sintetizzato nell'articolo risulta essere uno strumento di grande importanza sia per la conservazione della perdita memoria storica, sia per l'aggiornamento delle mappe del pericolo e del rischio da valanga in Valle d'Aosta.

INQUADRAMENTO TOPOGRAFICO DELLA ZONA

La zona teatro degli eventi del 1888 ricade ad Arnad, comune situato nella porzione orientale della Valle d'Aosta, e che dista circa 40 km da Aosta e 75 da Torino. Si colloca nelle vicinanze della confluenza tra val Val d'Ayas e la Valle Centrale lungo la quale scorre il fiume Doire Baltée (Fig. 1).

Esaminiamo l'area più nel dettaglio. Dall'abitato di Verrès, percorrendo lo spartiacque che separa la Valle Centrale dalla parte terminale della sinistra idrografica della Val d'Ayas, si incontra la scoscesa parete rocciosa del *Mont-Carogne* (910 m); da qui si prosegue verso est su pendenze notevolmente più dolci, superando il *Col Vert* (1370 m) si raggiungono le frazioni di *Pralise* e *Seura* (1459 m), a monte delle quali si erge la punta nominata *Mont-Chizzagne* (1812 m).

Dal *Mont-Chizzagne* si sviluppa, da est a ovest, per circa 3 km la lunga cresta che porta al *Mont-de-l'Aigle* (2581 m) che separa la Valle Centrale dal *Vallone di Dondeuil* in Val d'Ayas. Dalla cima del *Mont d'Aigle*, procedendo da nord verso

sud si segue l'inciso impluvio del *Torrent de Prouvy*, che dopo un percorso tortuoso raggiunge l'abitato di Arnad (361 m) per poi gettarsi nella *Dora Baltea*.

CARATTERISTICHE VEGETAZIONALI

Il versante settentrionale, quello che si affaccia sul *Vallone di Dondeuil*, è caratterizzato principalmente da vegetazione arborea d'alto fusto con predominanza di Larici (*Larix decidua*) e arbusti come l'Ontano verde (*Alnus viridis*) che vanno a colonizzare gli impluvi soggetti sia all'azione di ruscellamento delle acque, sia alla caduta di valanghe.

Il ripido versante meridionale che incombe su Arnad è invece quello da cui si origina la valanga trattata nell'articolo. Esso è caratterizzato dall'essere ripido e dall'aver lungo i pendii numerose frazioni tra cui *Avieil* (915 m). Al di sopra dei 1700-1800 m di quota è presente una copertura arborea rada e perlopiù composta da Pino silvestre (*Pinus sylvestris*) e Larice (*Larix decidua*); nella fascia altitudinale compresa tra i 1200-1700 m predominano invece le pinete, che lasciano gradatamente spazio, tra gli 800-1100 m, a boschi di latifoglie nobili di recente formazione e a castagneti da frutto.

Nel settore compreso tra gli 800 m e l'abitato di Arnad, prevale il querceto di Roverella (*Quercus pubescens*).

AVIEIL E L'AREA DA CUI SI ORIGINA LA VALANGA

L'abitato di *Avieil* sorge a circa 915 m di quota, proprio a metà costa del versante descritto, in una spianata naturale popolata da numerosi castagni da frutto. A monte, l'abitato risulta riparato da una falesia rocciosa sopra la quale si trova una seconda spianata anch'essa prevalentemente costituita da prati colonizzati in parte dal bosco e da grossi esemplari di castagno (*Castanea sativa*) e delimitata a monte dalla strada poderale che conduce a *Salé* (1049 m); proprio a ridosso di questa sono visibili

i ruderi delle abitazione che costituivano la frazione *Ansèrmet* (993 m).

A circa 1000 m di quota, sopra la strada poderale, l'incisione torrentizia del *Torrent de Verdoyen* si accentua e, in questo punto subisce una decisa deviazione sulla destra idrografica. Risalendo il letto del torrente, esso rimane profondamente inciso in un unico alveo fino a 1500 m di quota, per poi dividersi in due rami che diventano via via meno incisi, fino a livellarsi su di un ampio pendio aperto caratterizzato da un'inclinazione media di 36°. Poco più a monte si raggiunge la zona chiamata *Bois Noir* e la cresta spartiacque col *Vallone di Dondeuil* nei pressi delle cime del *Mont-Chizagne* e la *Cime-Granla* (1899 m); **proprio da questa cengia si origina la valanga che distrugge l'abitato di Avieil il 27 febbraio 1888.**

INQUADRAMENTO STORICO

Le cronache risalenti all'epoca del disastro ci dicono che tutto il versante alle spalle di Arnad è caratterizzato da una vegetazione arborea rada. La principale causa di tale situazione è il disboscamento effettuato dalla popolazione, nei decenni precedenti la valanga, per la produzione di carbone (Fig. 2).

Il periodico L'Écho du Val d'Aoste del 9 marzo 1888 riporta: «...assicuriamo che ad Arnaz il disastro di Aviey è attribuito esclusivamente a un notevole taglio di legno fatto nelle foreste che si estendono attorno a questo villaggio, utilizzato dalle fabbriche di Pont-Saint-Martin...»¹².

Già dal Settecento, lo sviluppo dell'industria siderurgica, determina un forte sfruttamento della risorsa boschiva, i boschi non servono più solo per rispondere alle esigenze dei nuclei famigliari che necessitano di legname da ardere e da opera, ma a quelle dell'industria metallurgica che richiede una grande quantità di carbone ricavato dalla legna: questo comporta una deforestazione di proporzioni considerevoli¹⁰. La più colpita da questo fenomeno è la Bassa Valle, dove si insediano numerosi fabbriche

che lavorano il minerale proveniente da Traversella, il cui territorio risulta ormai privo di vegetazione arborea.

Al disboscamento per scopi energetici si associa l'allevamento di ovini e caprini il cui pascolo non favorisce certamente la rinnovazione naturale del bosco.

Al taglio sono risparmiati prevalentemente i castagni da frutto capaci di fornire un apporto fondamentale nell'alimentazione della popolazione locale (Fig. 3).

Il forte sfruttamento del bosco gioca un ruolo non indifferente nel creare le condizioni ideali per il distacco della valanga, infatti, il bosco ha una funzione preventiva contro le valanghe.

La foresta, se è presente nell'area potenziale di distacco delle masse nevose e se sufficientemente fitta, esercita un'azione stabilizzatrice sul manto nevoso; viceversa se i boschi dei ripidi pendii a monte

Fig. 2- Poco sopra l'abitato di Avieil sono ancora oggi visibili i resti di due fornaci destinate alla produzione della calce e non molto lontano s'incontra la cava da cui si estraeva il calcare. La calce è ottenuta da rocce calcaree; il procedimento durante il quale si cuoce la roccia, grossolanamente frantumata, per diverse ore e a temperature comprese tra gli 800 e i 1000 °C, richiede ingenti quantitativi di legna da ardere. Per avere una stima del legname necessario, alcune fonti storiche riportano che per ciascuna cottura erano necessari circa venticinque esemplari di larice. Queste fornaci erano utilizzate prevalentemente per rispondere alle esigenze della popolazione locale, quindi il loro uso non era tale da determinare il disboscamento dei versanti.



Fig. 3- Avieil: esemplare di castagno (Castanea sativa). In passato il castagno aveva un ruolo fondamentale in quanto concorrevano alla sussistenza di molte popolazioni montane, non a caso è anche chiamato "l'albero del pane".



Fig. 4 - Carta degli usi del suolo (Archivio dell'Assessorato Istruzione e Cultura - Fondo del Servizio catalogo e beni architettonici).

sono radi, questa funzione viene meno e gli abitati a valle sono più vulnerabili. Lo stesso si dica nel caso in cui la zona dove la valanga ha origine sia posta al di sopra del limite del bosco. Gli alberi non hanno alcun effetto su una valanga in movimento anzi, questa inglobando le piante abbattute, aumenta la sua massa e di conseguenza la sua capacità distruttiva.

AVIEIL PRIMA DEL DISASTRO

Prima del 1888 il villaggio di Avieil veniva descritto come un «...gradevole soggiorno, ricco di castagni, pittorico per le sue casupole montanine, spirante l'allegria pace dei recessi alpini...»². In estate era abitato da numerose famiglie, mentre in inverno poche rimanevano in loco. Il sostentamento della popolazione era legato alla pratica della castanicoltura, alla coltivazione della segale, del grano e all'allevamento, in particolare di capre e pecore che rimanevano ad Avieil anche durante la stagione invernale (Fig. 4).

Situazione meteo

Storicamente l'inverno 1887-88 è ricordato come uno dei più nevosi e tragici proprio per gli effetti dei fenomeni valanghivi che accaddero: in tutto l'arco alpino, si produssero valanghe di enormi dimensioni con numerose vittime e gravi danni.

Sul versante italiano delle Alpi si contarono complessivamente 248 vittime¹. In Valle d'Aosta i morti furono almeno 34¹ e si contarono numerosi danni a edifici, boschi, campi e bestiame.

Grazie all'articolo *Le valanghe degli inverni 1885 e 1888* redatto dal professor Padre Francesco Denza (1834-1894) socio onorario del C.A.I. e pubblicato nel "Bollettino del C.A.I.: Vol. XXII, n°55", ai numerosi articoli sui giornali dell'epoca e alle mappe di ri-analisi del NCEP (American Meteorological Service) relative al geopotenziale a 500 hPa (corrispondenti a circa 5500 metri di quota), pressione al livello del mare (slp) e temperatura a 850 hPa (a circa 1500 metri di quota), è possibile ricostruire le condizioni meteorologiche che portarono, nel lontano febbraio 1888 alle nevicate che scatenarono valanghe di proporzioni enormi (Figg. 5 e 6).

Nel suo articolo Denza descrive l'inverno del 1887-1888 come molto precoce, di lunga durata e caratterizzato da frequenti nevicate, «le nevicate incominciarono innanzi tempo fin dall'autunno, ricoprendo nel mese di ottobre parecchie terre d'Italia...», «esse continuarono con uguale ed anzi maggiore energia al cominciare dell'inverno, non cessando che in primavera col mese di marzo»; tra tutte queste nevicate «...rimasero insolitamente disastrose per le nostre Alpi le ultime nevi del finir di febbraio...»¹.

Il mese di febbraio si apre con il transito di due precipitazioni nevose; successivamente, dopo una breve parentesi in cui le temperature aumentano, «...l'inverno divenne di nuovo rigoroso ...e le nevi caddero...in quantità assai notevole per la stagione»¹.

Dalla metà del mese di febbraio si assiste alla discesa di una saccatura nord-atlantica sull'Europa occidentale da cui, nei giorni seguenti, si stacca una circolazione depressionaria che, spostandosi verso le Isole Baleari e da qui verso il Mar Tirreno, convoglia correnti umide meridionali verso le Alpi.

La presenza di un'alta pressione che occupa l'area che va dalle Isole Britanniche, attraversa il nord della Germania, la Scandinavia, la Russia centrale in estensione verso sud, impedisce lo spostamento verso est della depressione: tale scenario provoca il suo stazionamento ed il persistere di tempo perturbato su tutto l'arco Alpino fino al 28 febbraio.

«...ciò determinò nevicate, dove più dove meno, su tutte Alpi italiane. L'altezza della neve oltrepassò ovunque il metro... toccando in alcuni luoghi, come nella valle d'Ossola, nella Valsesia, nelle Valli laterali della Dora Baltea e in altre delle Alpi Cozie e Marittime, persino i quattro metri»¹.

Il periodico *Le Feuille d'Annonces D'Aoste* del 7 marzo 1888 riporta: «Mentre nella piana d'Aosta si deposita una neve bagnata, dalla sera del 25 fino alla mattina del 28 febbraio ..., ... in montagna una neve secca cadde quasi senza interruzione»², «il 26 sera c'erano già 2,60 m di neve a Gaby e ha continuato a nevicare fino a martedì sera (28 febbraio), senza che lo spessore dello strato sia aumentato in modo significativo»³.

Nella fase finale della perturbazione si assiste all'aumento delle temperature, alla risalita del limite della nevicata e di conseguenza all'appesantimento del manto nevoso: questo particolare è molto importante per stabilire l'elemento scatenante le numerose valanghe che si verificano in quei giorni. Tale situazione è confermata da Denza nel suo artico-

lo: «...è da notare che nelle regioni basse della valle principale, come ad Aosta, la pioggia che venne di poi liquefecce gran parte della neve caduta»¹ e nel rapporto sull'evento scritto dal comandante della fortezza di Bard il Maggiore Montagna che dice: «...al forte di bard cadono 42 mm d'acqua, che riducono a 70 i 190 cm di neve caduta...»¹¹

Qui di seguito si riportano i dati riguardanti le altezze neve misurate al termine della nevicata in diverse località della Valle d'Aosta contenuti nell'articolo di Denza e nel periodico *L'Echo de la Vallée d'Aoste*⁴:

Valle centrale:

Aosta	0,35 m
Saint-Vincent (colline vicine)	1,80 m
Saint-Vincent (luoghi più alti)	4,00 m
Bard	1,90 m
Avieil	3,00 m

Valli secondarie:

Petit-Saint-Bernard	2,00 m
Grand-Saint-Bernard	0,92 m
La Thuile	0,60 m
Valgrisenche	1,50 m
Rhêmes	1,80 m
Valsavarenche	1,50 m
Cogne	2,95 m
Champorcher	4,00 m
Pont-Bozet	2,00 m
Brusson	3,25 m
Gressoney	3,45 m
Gaby	2,60 m
Issime	1,80 m

La situazione atmosferica fin qui descritta è solitamente responsabile di abbondanti nevicate nella parte sud-orientale della Valle d'Aosta, ciò è confermato in *L'Echo de la Vallée d'Aoste* del 23 marzo 1888: « ... come sappiamo, la valle del Gran San Bernardo non è stata molto colpita, mentre l'area che si estende tra Cogne, Champorcher e Ayas formando un vasto triangolo, ha ricevuto una vera tempesta di neve »⁴.

Solitamente queste precipitazioni sono generate da depressioni, localizzate sul

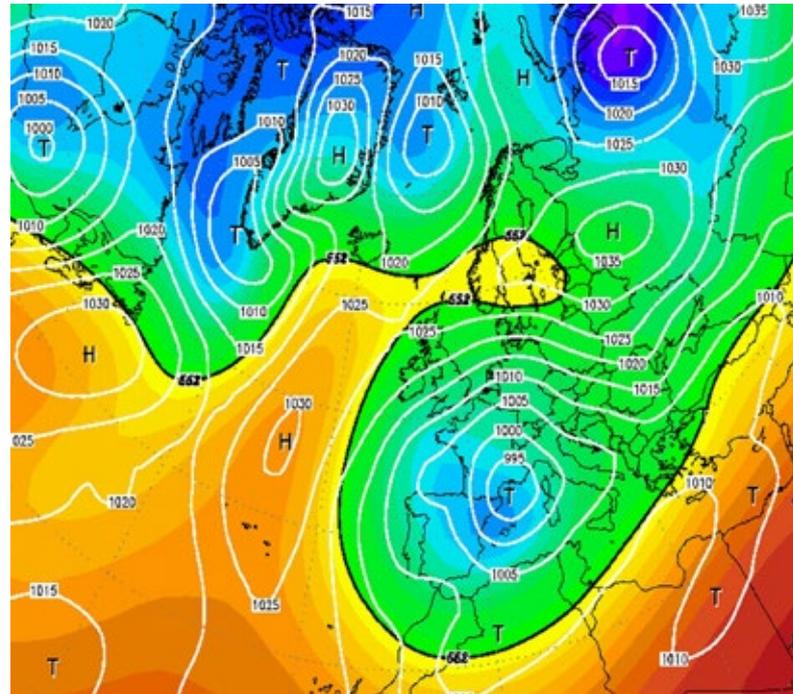


Fig. 5 - 21 febbraio 1888: mappa di ri-analisi del geopotenziale a 500 hPa e della pressione a livello del mare.

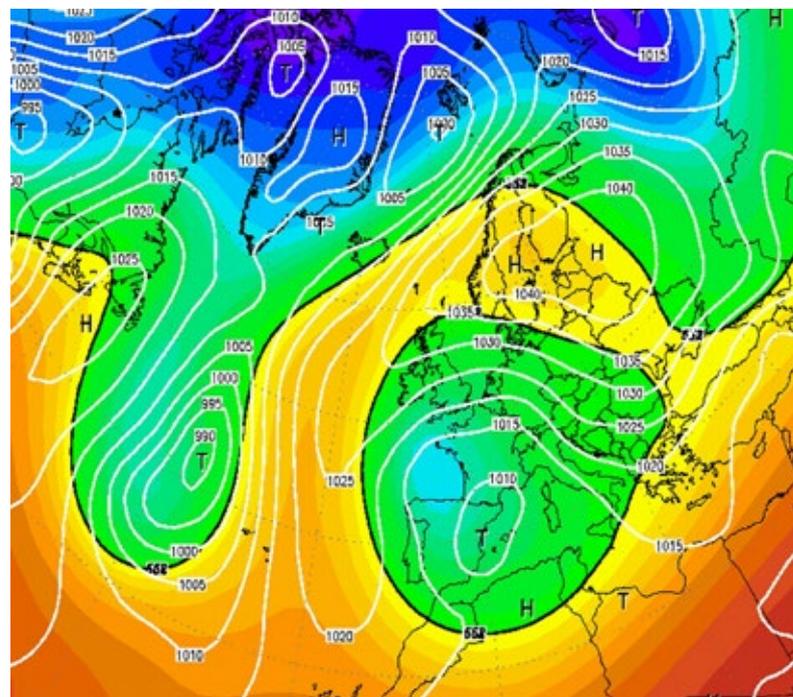


Fig. 6 - 26 febbraio 1888: mappa di ri-analisi del geopotenziale a 500 hPa e della pressione a livello del mare.

Fig. 7 - Giovedì 18 dicembre 2008: il villaggio di Tignes (1665 m, Valsavarenche) isolato da alcuni giorni.

Golfo del Leone oppure sulle Isole Baleari, accompagnate da venti di scirocco. Questi, scontrandosi con la catena alpina, rilasciano l'umidità sotto forma di precipitazione.

La nevicata che ha interessato soprattutto le vallate del Gran Paradiso, Ayas, Lys e Champorcher a metà dicembre del 2008 (vedi "Rendiconto nivometeorologico inverno 2008-2009") ha avuto origine proprio da una simile configurazione meteorologica (Fig. 7).





Fig. 8 - Zona di distacco della valanga di Avieil fotografata dal Col de Courtil (1508 m).

LA DINAMICA DELLA VALANGA DEL 27 FEBBRAIO 1888

Nel 1888 la frazione di Avieil è composta di diciotto case e una cappella dedicata a Saint - Clair e a Saint-Dépendent, tutte abitate nella stagione estiva; al momento della catastrofe nel villaggio sono presenti soltanto tredici persone poiché «...d'inverno la frazione è quasi abbandonata, cosicché su diciotto case rimanevano ad abitarla due o tre famiglie. Esse erano la famiglia Janin, composta dal

padre Martino, d'anni 50, col figlio Giuseppe, d'anni 14; la famiglia di Laurent Anbrogio d'anni 34, con la moglie Janin Teresa, d'anni 30, ed i figli Martino, d'anni 7, Francesca, d'anni 5 e Giuliano d'anni 3; e quella di Champorney Elisabetta, d'anni 38 (moglie di Laurent Giuseppe fratello di Laurent Ambrogio, fonte anagrafe di Arnad), coi figli Agostino, d'anni 10, Adolfo, d'anni 9, Andrea, d'anni 5, e Rosina pure d'anni 5. Oltre a queste famiglie si trovava pure nella frazione un tal Champorney Marcellino, d'anni 40»².

Lunedì 27 febbraio 1888 tra le ore 9:00 e le 10:00, dopo alcuni giorni di maltempo, l'equilibrio che permette alle ingenti masse nevose di rimanere stabili sui pendii che sovrastano Arnad viene meno e tutta la neve caduta scivola a valle erodendo e inglobando la coltre nevosa sottostante accumulatasi nelle settimane e mesi precedenti, tutt'altro che avari di neviccate.

Una volta percorso il pendio sottostante il Mont-Chizzagne e la Cima-Granla, la valanga, si immette nell'impluvio inciso dal Torrent de Verdoyen, percorrendolo a grande velocità e coinvolgendo parzialmente l'abitato omonimo posto a 1230 m di quota (Fig. 8).

La valanga giunta a 1000 m di quota, nel tratto del canale dove l'incisione si attenua e il torrente devia a destra, prosegue diritta danneggiando alcune abitazioni della frazione Ansèrmet a 993 m e in un istante percorre la spianata a monte dell'abitato di Avieil abbattendo numerosi castagni secolari (Fig. 9). A questo punto la valanga supera agevolmente il salto di roccia a ridosso dell'abitato precipitando dall'alto sulle abitazioni della frazione occupate dagli abitanti, ignari del pericolo e intenti nelle loro attività quotidiane (Fig. 10).



Fig. 9 - Foto dei ruderi della frazione di Ansèrmet (993 m) anch'essa interessata dalla valanga.

Fig. 10 - Vista generale del sito valanghivo, in bianco le zone interessate dalla valanga del 1888.



Nell'altra pagina, in alto: fig. 11 - Parte finale della mulattiera costruita nella metà del XX secolo che da Arnad-le-Vieux porta ad Avieil. I soccorritori, a causa dell'enorme quantità di neve, impiegano due ore e mezzo per raggiungere Avieil.

Diffusione della notizia della tragedia

La notizia della catastrofe giunge ad Arnad intorno alle 11:00 portata a valle «...da un uomo che si trovava già incamminato per scendere in paese»⁵ e «...a Verrès soltanto alle ore 16:00 del pome-

riggio. Le strade cattive, la costernazione susseguita alla grande sciagura spiegano questo lungo ritardo nel propagarsi della notizia»².

Organizzazione dei soccorsi

Il sindaco di Arnad Chalaisin Pietro fa dare l'allarme e si attiva per organizzare i soccorsi, al suono dei tamburi è radunato un numeroso gruppo di soccorritori che si mette in marcia risalendo i pendii sopra Arnad-le-Vieux e raggiunge Avieil verso le 17:00.

Nel frattempo giunge notizia di un'altra valanga che scendendo attraverso il canale del *Torrent de Possine* ha seppellito il mulino in località *Va*; anche in questa località viene mandato in soccorso un drappello di volontari.

Nel tardo pomeriggio giungono ad Arnad a supportare le operazioni il Pretore di Verrès Tercinod Emilio e il Brigadiere dei carabinieri Cimaschi Faustino, a essi si unisce in serata il comandante della fortezza di Bard il Maggiore Montagna che con cinquanta soldati del 74° reggimento, insieme ad altri ottanta abitanti di Arnad, raggiunge Avieil intorno all'una di notte (Fig. 11).

Avieil agli occhi dei primi soccorritori

Ecco come appare la valanga ai soccorritori, alle prime ore del 28 febbraio «...il fieno, le travi, i ramoscelli e branchi d'alberi divelti commisti a neve annerita, formano lo strato visibile della valanga. Sopra di essa sporgono tronchi d'alberi quasi secolari, divelti dalla potenza della valanga; quasi una foresta decapitata da una forza immensa, brutale...»² e cosa rimane di Avieil «...di tutta la frazione Avieil non stava in piedi che la sola cappella...; il volume denso della neve ha equiparato le dolci pendici, le tortuose e brevi vie del villaggio, ha sorpassato le case ed ha creato una topografia nuova dei luoghi...»².

Di seguito si riportano parti dell'articolo apparso il primo marzo 1888 sulla Gazzetta Piemontese e del resoconto redatto dal Maggiore Montagna, contenuto nell'articolo del Prof. Denza, in

essi sono descritti dettagliatamente sia i danni cagionati dalla valanga sia le operazioni di soccorso.

«...una casa e la cappella, perché situate molto a ridosso dello sprone della montagna soprastante, furono quasi defilate dalla valanga, sebbene interamente sepolte; e un'altra casa (della famiglia di Janin Martino) essendosi trovata alquanto lontana dal gruppo, ebbe a sopportare soltanto l'urto di un lembo della valanga, che la incalzò quasi fino al tetto, ma non la gettò a terra. Tutte le altre abitazioni erano letteralmente ridotte a mucchi di macerie coperte da oltre quattro metri di neve, compressa e frammista al pietrame e a piante colossali state troncate come fuscilli nell'impetuosa corsa della valanga, e scaraventate nel modo più bizzarro sulla spianata..., producendo la rottura di molte grosse piante che si trovavano sulla spianata e che concorsero a stritolare le povere case, formando così una massa informe ondulata di almeno 400 metri quadrati di superficie»⁵.

Testimonianze tramandate oralmente affermano che la campana della cappella viene divelta dal soffio della valanga e trasportata fin sul pianoro antistante al villaggio dove viene in seguito ritrovata⁸ (Fig. 12).

PRIMO GIORNO DI RICERCHE

Nella notte illuminata dal chiarore della luna il gruppo costituito da numerosi abitanti di Arnad, carabinieri, guardie forestali e soldati con badili e picche, procedendo per approssimazione, scavano pozzi nei punti dove suppongono si possano trovare le case diroccate.

Uno dei primi pozzi è scavato per salvare gli eventuali superstiti all'interno della casa della famiglia di Janin Martino solo parzialmente toccata dalla valanga. I soccorritori, grazie a uno di questi pozzi, raggiungono la porta della stalla in cui trovano ancora vivo Janin Martino e continuando nello scavo «...tra le pietre, i tronchi d'alberi ed i rottami d'ogni genere si scopri un finestrino della stalla. Alcuni ardimentosi, facendosi piccini, passa-



rono per essa ed entrarono all'interno. Ventiquattro agnelli erano là sepolti, vivi ed in apparenza tranquilli...»².

A questo punto si sentono dei gemiti attraverso un muro «...rotta con leve di ferro una parte del muro, essi poterono entrare in una seconda stalla..., in cui trovarono il figlio di Janin Martino, Giu-

Fig. 12 - Il piccolo campanile della cappella dedicata a Saint-Clair con la campana divelta dal soffio della valanga.



Dall'alto:
fig. 13 - Vista dei
ruderi della casa di
Laurent Giuseppe,
in essa perirono la
moglie e i suoi quattro
figli. I residui dei muri
perimetrali delimitano,
oggi, degli orti.

Fig. 14 - La cappella di
Avieil dedicata a Saint-
Clair edificata nel 1689.

seppe, stipato in uno spazio non certo più grande di un metro cubo insieme a quattro agnelli vivi e ad altrettanti morti²; fino a quel momento erano già passate trentasei ore dall'inizio della tragedia. Nel frattempo «Da una stalla vicina, ritrovata col mezzo di un altro pozzo, venne estratta morta Janin Teresa, moglie di Laurent Ambrogio. Essa stava filando la

lana e cadde supina sul filatoio², sempre dalla stessa abitazione vengono estratti morti due dei suoi 3 figli, Francesca e Giuliano, «...di questa famiglia rimangono ancora da rintracciarsi i corpi del padre Laurent Ambrogio e del figlio primogenito Martino² (Fig. 13). Della famiglia di Champorney Elisabetta e dei suoi quattro figli non si ha alcuna traccia fino a metà giornata, quando «...di questa famiglia fu estratto respirante il piccolo Adolfo. A chi gli porse soccorso egli disse in patois: «Liberatemi da queste pietre che ho sulla schiena» «Apri e chiuse due o tre volte le sue manine come se volesse chiamare qualcuno e spirò. Poco dopo veniva trovata, già morta, sua sorella Rosina...². L'unico superstite di questa famiglia è Laurent Giuseppe marito di Elisabetta, al momento della catastrofe si trovava fuori casa come testimonia la nipote Nicod Augusta: «mio nonno era salito su Montagné Verdoyen per accudire le capre e quando rientrò trovò l'intera famiglia, la moglie e quattro figli, tutti sepolti sotto la neve. Dopo alcuni anni si è risposato con mia nonna...».

La prima giornata di soccorsi termina con l'arrivo del buio «...in tutta la Valle d'Aosta la notizia di questa catastrofe ha prodotto un'impressione grandissima, anche perché si teme non sia la sola. La neve è, su questi monti, altissima. A Champorcher dicono che ve ne sia per un'altezza di quattro metri e mezzo, e corre già voce che alcune valanghe siano colà cadute².

Ad Avieil, fino a questo momento, sono state trovate sette delle tredici persone sepolte dalla valanga, di queste sette due sole sono sopravvissute alla violenza dell'evento.

SECONDO GIORNO DI RICERCHE

I soccorritori, già dalle prime ore del mattino del 29 febbraio, sono nuovamente all'opera nella ricerca dei sepolti. Durante la giornata sono estratti dalla neve altri tre corpi, quello di Champorney Elisabetta e degli altri suoi due figli Andrea e Agostino, essi «...andarono a

raggiungere gli altri nella povera cappella di Saint - Clair...² (Fig. 14).

La sera tra le 21:00 e le 22:00, mentre i soccorritori si scaldavano nella casa di Janin Martino solo parzialmente distrutta dalla valanga, «...una guardia forestale (Joly Martin), mentre passeggiava a guisa di sentinella fra le macerie, gli sembrò di sentire dei piccoli rumori sotto la neve, e chiamati i compagni, scavarono un pozzo da cui estrassero vivo Laurent Ambrogio...;...costui si trovava fuori di casa, ove furono trovati morti i suoi famigliari; si salvò nel piccolo spazio rimasto sotto una pianta che appoggiò i rami contro la casa diroccata..., e formò una piccola grotta nella neve ove rimase per circa 60 ore...⁵.

Rimangono ancora due dispersi, le ricerche proseguono anche il primo marzo ma senza alcun successo, ormai si teme che «...rimarranno colà fino allo squaglio delle nevi⁵. Il ritrovamento di Ambrogio riaccende per un istante le speranze nei soccorritori.

Nei giorni successivi le ricerche perdono d'enfasi, poiché nessuno dei dispersi viene ritrovato, ormai sono poco le speranze di ritrovare ancora in vita Laurent Martino figlio di Janin Teresa e Champorney Marcellino.

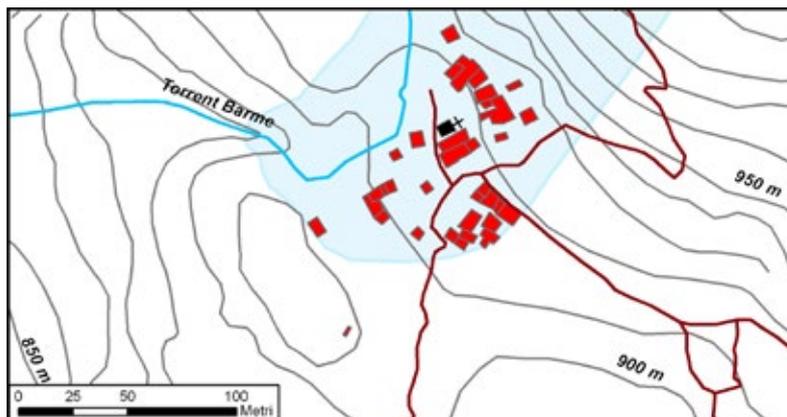
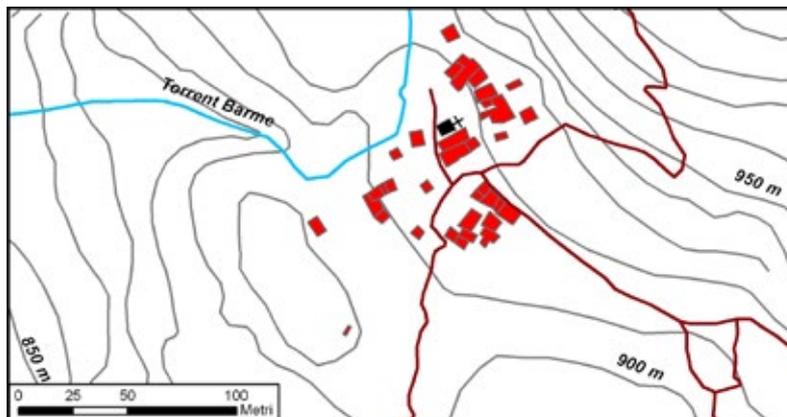
Le due vittime sono recuperate l'undici marzo come ci riferisce La Gazzetta Piemontese del 16-17 marzo 1888: «...dopo alcune ore d'infessato lavoro si riuscì a estrarre da sotto un mucchio di rovine e di neve di circa otto metri di profondità le due povere salme...⁶ (Fig. 16)

BILANCIO DELLE VITTIME E DANNI

Il bilancio della valanga è di tredici sepolti, di questi, tre vengono estratti vivi e uno di loro muore immediatamente dopo, gli altri dieci sono trovati privi di vita.

I beni immobili interessati sono tutti e diciotto gli edifici che costituiscono il villaggio di Avieil tranne la cappella di Saint-Clair rimasta pressoché indenne all'evento; solo la campana, posta all'interno del piccolo campanile, viene

La mappa del vecchio nucleo abitato di Avieil



MAPPA DEL VECCHIO NUCLEO ABITATO DI AVIEIL

Questa elaborazione cartografica deriva

dall'analisi delle informazioni contenute nella *mappa dei volumi costruiti in fasi successive*, redatta dai tecnici dell'Ufficio rilevatori architettura storica minore, da cui è possibile individuare tutti gli edi-

fici eretti prima dell'evento valanghivo e quindi **ricostruire lo stato del villaggio al momento della catastrofe**. Osservando la mappa si evince come il vecchio nucleo abitato (poligoni rossi) fosse concentrato intorno alla cappella (poligono nero), lasciando libera la spianata antistante sfruttata per la castanicoltura, la praticoltura e per il pascolo. Associando i dati estrapolati dalle cronache dell'epoca, che ci confermano che tutti gli edifici tranne la cappella vengono distrutti dalla valanga, con le informazioni fornite dalla *mappa del confronto* (sullo stato di rudere o meno degli edifici e di eventuali ristrutturazioni subite) elaborata dalla Soprintendenza, si deduce che tutti gli edifici del vecchio nucleo (poligoni rossi) siano stati coinvolti dalla valanga (campitura azzurra).

LA MAPPA DEGLI EDIFICI COSTRUITI O RICOSTRUITI NEI DODICI ANNI DOPO LA VALANGA

Analizzando la dislocazione degli edifici costruiti tra il 1888 e il 1900 (poligoni



Le iscrizioni sulle pietre

Le iscrizioni sui muri degli edifici sono molto utili per ricostruire la storia di Avieil: molte abitazioni riportano, prevalentemente sulle pietre poste lungo gli angoli dei muri perimetrali, la data di costruzione o di ricostruzione del fabbricato. Analizzando nel dettaglio le date individuate sulle case di Avieil, due abitazioni riportano la data del 1889: in un caso la data testimonia una ricostruzione, nell'altro invece si riferisce alla costruzione di un nuovo edificio in un'area prima mai edificata e non interessata dal fenomeno valanghivo (Fig. 18). Altri due edifici riportano la data 1891 e un altro 1897.

Subito dopo la tragedia, gli abitanti di Avieil decisero di non abbandonare il luogo riconoscendo l'eccezionalità dell'evento che li ha colpiti, allo stesso tempo però attuano una strategia preventiva ad un eventuale ripresentarsi della valanga: dislocano i nuovi edifici nelle zone non raggiunte dalla massa nevosa (Fig. 19).

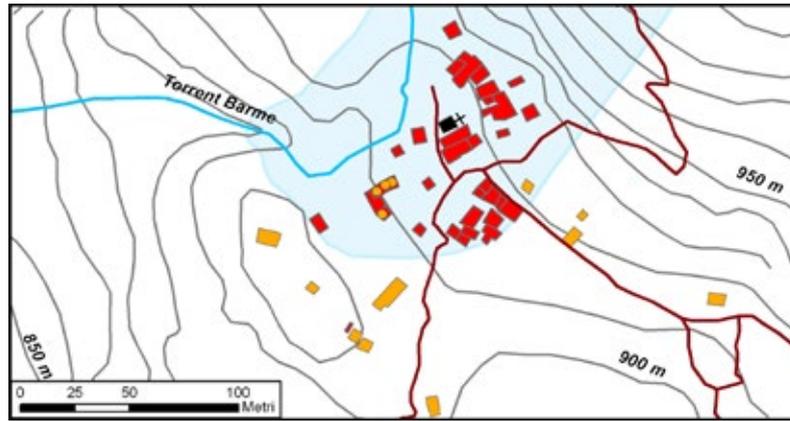
Fig. 18 - Iscrizione su pietra di un edificio localizzato a sud-est della cappella, la data testimonia l'anno della ricostruzione.

Fig. 19 - Iscrizione su pietra di un edificio localizzato lungo la strada poderale per Avieil, 100 metri prima di raggiungere il nucleo principale, la data testimonia l'anno della costruzione.

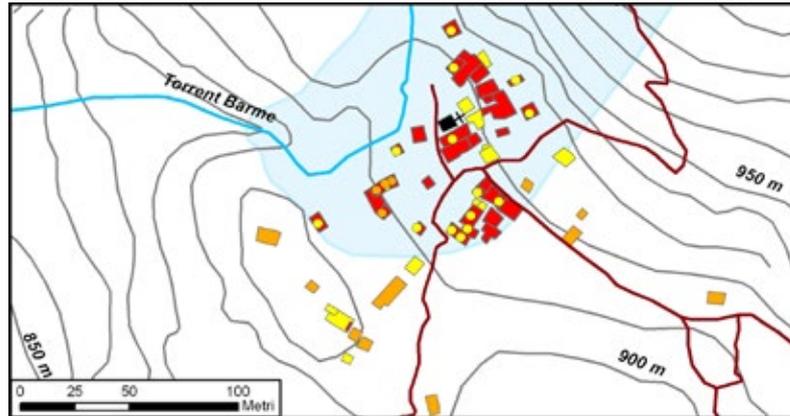
arancioni), si osserva un'espansione dell'area edificata; questa si allontana dal vecchio nucleo abitativo, decentrandosi e andando così a occupare aree fino a quel momento destinate alle pratiche agropastorali, in definitiva si cerca di allontanarsi dalle zone interessate dall'evento valanghivo. In quest'arco temporale gli abitanti del villaggio decidono di edificare un'altra cappella nella zona dell'abitato, in un luogo lontano da quello interessato dalla valanga. I lavori di costruzione sono interrotti quasi immediatamente per mancanza di fondi, per lungo tempo rimangono le fondazioni dalla caratteristica pianta che richiama la funzione religiosa dell'edificio; nel foglio catastale è il primo a sud del villaggio lungo la strada. Risultano pochi gli edifici ricostruiti (tondini arancioni) nei dodici anni successivi la valanga.

LA MAPPA DEGLI EDIFICI COSTRUITI O RICOSTRUITI TRA IL 1945 E IL 2011

In questa mappa si può osservare l'ulteriore ampliamento urbanistico (poligoni



La mappa degli edifici costruiti o ricostruiti nei dodici anni dopo la valanga.



La mappa degli edifici costruiti o ricostruiti tra il 1945 e il 2011.

gialli) avvenuto ad Avieil dopo il 1945 e la ristrutturazione/ricostruzione di alcuni edifici distrutti dalla valanga (tondini gialli). Analizzandola si osserva come la popolazione sia tornata a edificare an-

che in quelle aree interessate nel 1888 dall'evento valanghivo. Questa tendenza al riuso di aree precedentemente evitate, è confermata dalla ricostruzione di alcuni edifici distrutti nel 1888.

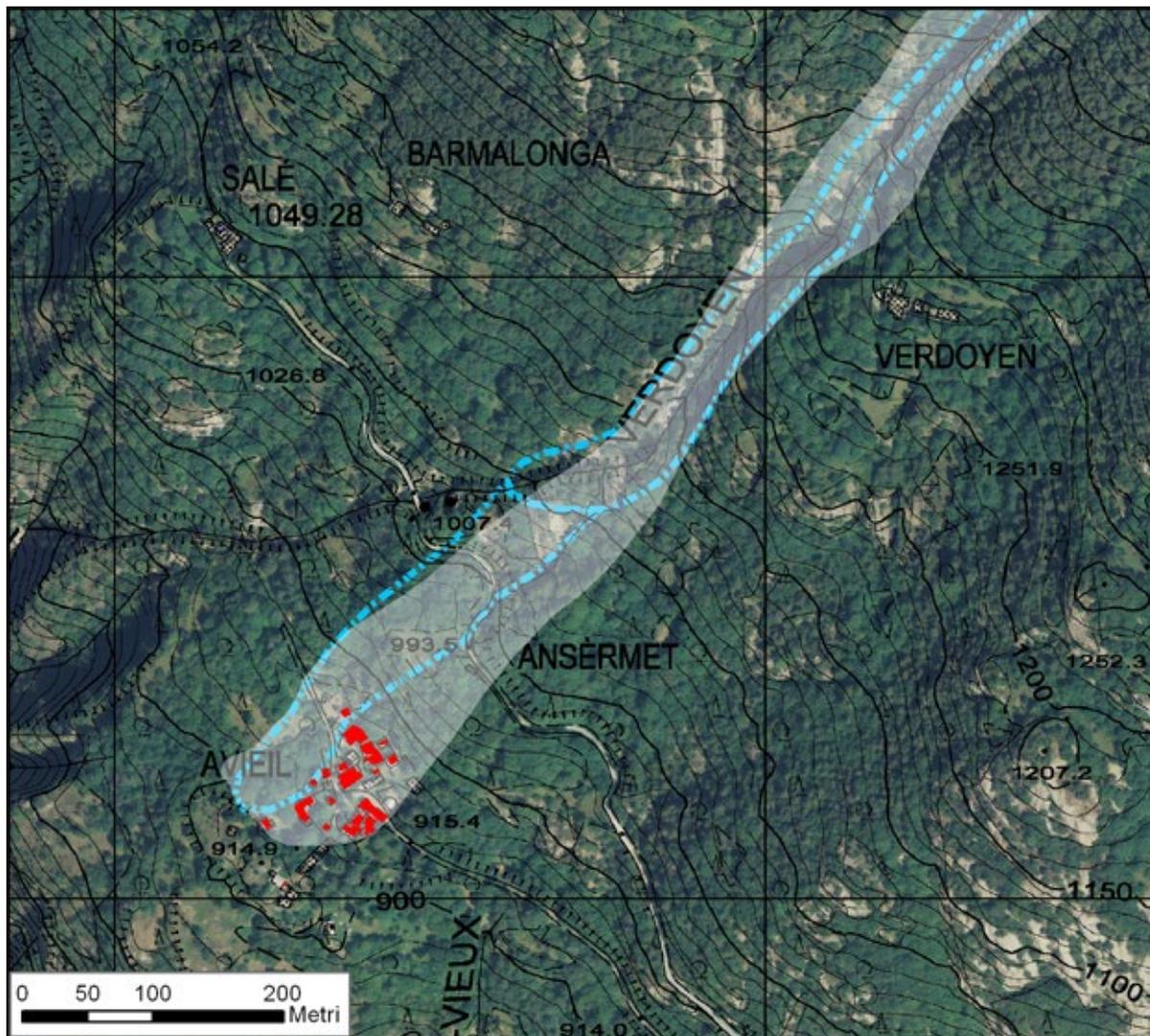
Sotto:
fig. 20 - La ceppaia del castagno secolare localizzata pochi metri a sud-est della cappella a fianco dei ruderi di un'abitazione.

Fig. 21 - Dall'analisi dell'andamento dello spessore degli anelli di accrescimento si osserva una riduzione proprio negli anelli corrispondenti agli anni successivi l'evento valanghivo del 1888.

Gli anelli di accrescimento degli alberi

La capacità della vegetazione, in particolare quella arborea, di reagire agli stimoli esterni e di registrarli negli anelli rappresenta un archivio d'informazioni d'instimabile valore sulle variazioni climatiche, ambientali e sui processi idrogeologici di versante che caratterizzano le vallate alpine, tra questi ultimi, vi sono le valanghe. In caso d'evento valanghivo, i danni che la pianta subisce (ferite alla corteccia, fusti e rami piegati o spezzati etc...) vengono, se l'albero sopravvive, registrati con una riduzione dello spessore degli anelli d'accrescimento. Semplicemente contando e osservando l'andamento dello spessore dei vari anelli, è possibile risalire all'esatto anno in cui la pianta ha subito uno stress che ne ha disturbato la crescita. Ad Avieil nei pressi della cappella è presente una grossa ceppaia di un castagno secolare tagliato nel 2009 (Fig. 20). Contando a ritroso 121 anelli che corrispondono agli anni compresi tra il 2009 (anno dell'abbattimento della pianta) e il 1888 (anno della valanga), si osserva, proprio in corrispondenza degli anni successivi la valanga, una serie di anelli di spessore ridotto. La valanga deve aver danneggiato la pianta senza determinarne la morte, i danni al fusto e a parte della chioma hanno determinato negli anni seguenti al 1888 una frenata nella crescita. All'epoca della valanga la pianta doveva avere già all'incirca 120 anni (Fig. 21).





Le elaborazioni cartografiche unite alla ricostruzione della dinamica dell'evento valanghivo, trattata nei paragrafi precedenti, permettono di riportare in cartografia il perimetro dell'evento valanghivo, aggiornando così il documento cartografico del catasto valanghe. La campitura bianca delimita la superficie interessata dal passaggio e dal deposito della valanga scesa la mattina del 27 febbraio 1888; il tratteggio azzurro indica i limiti del fenomeno valanghivo conosciuti al catasto regionale valanghe prima di effettuare la ricerca storica e i poligoni rossi sono la rappresentazione degli edifici di Avieil nel 1888.

I DATI SALIENTI DELLA VALANGA DI AVIEIL (ARNAD), 27 febbraio 1888

Nome valanga: Cime Granla Sud	Danni a persone e/o cose: 13 travolti di cui 2 feriti e 11 vittime; 18 abitazioni distrutte ad Avieil e altre distrutte e danneggiate nelle frazioni di Ansermet e Verdoyen; danni al bestiame; danni ingenti ai castagneti presenti a monte e nei pressi dell'abitato di Avieil.
Numero valanga da CRV: 058	
Comune: Arnad	
Data: 27 febbraio 1888	
Inclinazione media al distacco: 36°	I maggiori eventi storici noti al Catasto Valanghe: L'unico evento noto è quello trattato in questa scheda.
Quota massima distacco: 2000 m	
Quota minima arresto: 915 m	

Bibliografia

¹ Padre Francesco Denza "Le valanghe degli inverni 1885 e 1888", Torino, Tipografia G. Candeletti, 1889.

⁵ Maggiore Montagna, comandante della Fortezza di Bard, testimonianza contenuta nell'opera letteraria "Le valanghe degli inverni 1885 e 1888" di P. F. Denza.

¹⁰ A. Vignet des stoles "Relation sur les forêts et l'industrie métallurgique de la Vallée d'Aoste en 1783", Bulletin de la Société de la flore valdôtaine, n°4, 1907.

¹¹ M. Montagna "Lettera indirizzata a P. Francesco Denza, direttore

dell'Osservatorio meteorologico centrale del Real collegio "Carlo Alberto" di Moncalieri.

Grilletto R., 1978 - Bard la sua storia - il suo forte. Musumeci. Aosta. 80 pp.
 Quey D. et al., 2010 - Verrès una storia lunga più di 2000 anni. Musumeci S.p.a.. Quart. 300 pp.

Remacle C., 1986 - Architecture rurale. L'ERMA di Bretschneider dalla Litografia Eurotip. Roma. 295 pp.

Trèves C. et al., 1997 - Uomini e boschi. Tipografia Valdostana. Aosta. 303 pp.

Estratto cartografico dell'evento valanghivo del 27 febbraio 1888 dalla zona di distacco a quella di arresto, a conclusione della ricerca storica.



Publicazioni periodiche:

- 2 "La Gazzetta Piemontese" dell'1-2 marzo 1888.
- 3 "Le Feuille d'Annonces d'Aoste" del 7 marzo 1888.
- 4 "L'Echo de la Vallée d'Aoste" del 23 marzo 1888.
- 6 "La Gazzetta Piemontese" del 16-17 marzo 1888.
- 7 "La Gazzetta Piemontese" del 2-3 marzo 1888.
- 12 "L'Echo de la Vallée d'Aoste" del 9 marzo 1888.

Testimonianze orali:

- 8 Augusta Nicod nell'estate del 2011.
- 9 Maria Favre testimonianza contenuta in "Arnad in Valle d'Aosta, quasi un secolo di memorie" di Elida Noro e Augusta Champorney, 2006, Priuli&Verluccha, Ivrea. Roberto Bertolin, Archivio storico regionale nell'estate del 2011.

Archivi consultati nel 2011:

Archives historiques régionales, Assessorat de l'Education et de la culture, Direction des archives et bibliothèques.
 Archivio dell'Anagrafe del Comune di Arnad.
 Archivio dell' Ufficio Catalogo e archivi iconografici e documentali, Dipartimento Soprintendenza per i beni e le attività culturali, Assessorato del Turismo, Sport, Commercio, Agricoltura e Beni culturali, Regione Autonoma Valle d'Aosta.





CARTOGRAFIA

2

La ricerca storica per
ampliare la conoscenza
dei monti Sibillini

La ricerca storica per ampliare la conoscenza dei MONTI SIBILLINI

**Marika Traini, Gabriella Speranza,
Stefano Sofia, Viviana Castelli,
Francesca Sini e Paolo Sandroni**

Un ringraziamento va a Don Elio Nevigari della diocesi di Ascoli Piceno per i consigli e la grande disponibilità in questa ricerca.

The historical reconstruction of the history of a territory through the retrieval of information from past events is a fundamental activity for a better knowledge of the natural phenomena that affect it, with regards to location, size, and frequency.

An experiment of this type was carried out in the municipalities affected by avalanches in the Monti Sibillini district (in the hinterland of the provinces of Ascoli Piceno, Fermo and Macerata).

Applying a research methodology used in historical seismology studies carried out at Italian INGV. The period investigated goes from the beginnings of the century into an art section from 1905 until 2017; the survey was conducted by consulting local chronicle sources and historical memories. The analysis has brought interesting results: about 74 avalanches have been identified of which we had not or were not aware of or of which we had fragmentary information, thus allowing us to expand the historical series relative to the known events. The methodology followed therefore proved to be effective also in this area and it is believed that it can be applied in other areas of the Apennine sector or for further apprehensions in specific areas.

Lo spoglio sistematico delle fonti storiche applicato ad un preciso ambito geografico

La ricostruzione della storia di un territorio mediante il reperimento delle informazioni di eventi passati rappresenta un'attività fondamentale per una migliore conoscenza dei fenomeni naturali che lo interessano, relativamente alla loro localizzazione, grandezza, e frequenza. Un esperimento di questo tipo è stato svolto nei comuni interessati dalle valanghe nel comprensorio dei Monti Sibillini (nell'entroterra delle Province di Ascoli Piceno, Fermo e Macerata), applicando una metodologia di ricerca utilizzata negli studi di sismologia storica svolti presso l'INGV. Il periodo investigato va dal 1905 al 2017; l'indagine è stata condotta mediante la consultazione di fonti cronachistiche locali e memorie storiche. L'analisi ha portato risultati interessanti: sono state individuate circa 74 valanghe di cui o non si era a conoscenza o di cui si avevano informazioni frammentarie, permettendo in tal modo di ampliare la serie storica relativa agli eventi conosciuti. La metodologia seguita dunque si è dimostrata efficace anche in questo ambito e si ritiene che possa essere applicata in altre zone del settore appenninico o per ulteriori approfondimenti in zone specifiche.

LA DOMENICA DEL CORRIERE

Ann.
Semestre

NEL BRUNO ESTERNO
L. 15.- L. 40.-
" " " " " 21.-

Si pubblica a Milano ogni settimana

Ufficio del giornale
Via Solferino, 20 - Milano

Per le inserzioni rivolgersi all'Amministrazione del Corriere della Sera - Via Solferino, 20 - Milano

Supplemento illustrato del "Corriere della Sera"

Per tutti gli articoli e illustrazioni è riservata la proprietà letteraria e artistica, secondo le leggi e i trattati internazionali.

Anno XXXII - N. 10

9 Marzo 1930 - Anno VIII

Centesimi 30 la copia



A Bolognola, sull'Appennino marchigiano, una enorme frana di neve ha sepolto letteralmente una frazione del paese. Entrando a gran fatica da finestre e da tetti scoperechiati, militi, soldati e sciatori fascisti, giunti da varie parti, sono riusciti a salvare sedici persone e a portare all'aperto diciannove morti. (Disegno di A. Beltrami)

INTRODUZIONE

Pur essendo limitate ad una porzione relativamente ristretta di territorio e pur costituendo un rischio solo in determinati periodi dell'anno, le valanghe nella Regione Marche sono dei fenomeni estremamente pericolosi, responsabili nel passato anche di vittime (Bolognola, Montegallo per citare i più significativi) e danni.

Per questo motivo la conoscenza dei fenomeni, delle loro dinamiche e dei luoghi ove maggiormente si innescano rappresenta un passo fondamentale sia per le attività di previsione e prevenzione che per la pianificazione e gestione del territorio. La riduzione del rischio valanghe è uno degli obiettivi di cui i legislatori devono tenere conto nel fissare le regole nell'uso del territorio.

L'importanza di censire gli eventi valanghivi del passato è fondamentale sia per l'aggiornamento della Carta di Localizzazione Probabile delle Valanghe sia soprattutto per la compilazione di un catasto. Tale attività di reperimento dati è sottolineata anche dalla direttiva "Indirizzi operativi per la gestione organizzativa e funzionale del sistema di allertamento nazionale e regionale e per la pianificazione di protezione civile territoriale nell'ambito del rischio valanghe" emanata il 12 agosto 2019 dal Presidente

del Consiglio dei Ministri (GU Serie Generale n.231 del 02-10-2019).

L'uso della ricerca storica diventa fondamentale, ogni traccia del passato di un'area può aiutarci a capire le dinamiche che possono svilupparsi in caso di forti nevicate o di rialzi improvvisi di temperatura, dandoci la possibilità di effettuare un'adeguata pianificazione e gestione del territorio. In questo lavoro presentiamo la metodologia adottata e i risultati di una indagine svolta per ampliare ed approfondire la successione temporale delle valanghe che hanno interessato il territorio dei Monti Sibillini (entroterra delle Province di Ascoli Piceno, Fermo e Macerata). Il metodo seguito è quello utilizzato nel campo della sismologia storica per l'individuazione di terremoti "dimenticati", cioè sfuggiti finora alla catalogazione da parte degli strumenti conoscitivi disponibili (cataloghi sismici parametrici).

ESPERIENZE PRECEDENTI

Nel passato si ricordano, nel comprensorio dei Sibillini, molti eventi valanghivi in alcuni dei quali cui si contarono anche numerose vittime.

Nel dicembre 1990 la Regione Marche fu interessata da eccezionali nevicate: in Provincia di Macerata fu necessario evacuare gli abitanti di Vallestretta (frazione

del Comune di Ussita) e si temette il peggio per quelli di Bolognola. Per dotarsi di adeguati strumenti di gestione territoriale, la Giunta Regionale commissionò allo Studio Nevini di Firenze la redazione di una CLPV dei Monti Sibillini. Le relative indagini furono svolte, durante le estati del quinquennio 1992-1996, seguendo la metodologia universalmente riconosciuta, ovvero fotointerpretazione e inchiesta sul terreno, quest'ultima consistente in sopralluoghi, interviste e ricerca di memorie storiche. L'indagine permise di identificare e cartografare 303 aree valanghive. (Tabella 1)

Il lavoro del Nevini è stato fondamentale per inquadrare in maniera concreta il problema valanghe nelle Marche. Si presentava comunque la necessità di aggiornare, arrivando al presente, ed integrare, relativamente al passato, quanto già a disposizione in merito ai dati raccolti, possibilmente andando ad analizzare fonti differenti. In questo quadro si inserisce la volontà di adottare una differente metodologia di ricerca, collaudata in altro ambito scientifico, ovvero la sismologia storica, per individuare e incrementare i dati in possesso del Centro Funzionale e ricostruire una serie storica degli eventi più consistente. Lo studio svolto in questa sede non solo va ad incrementare i dati già presenti nella struttura del Centro Funzionale regionale, ma ha permesso di acquisirne altri, arrivando a costituire una serie che si estende a ritroso fino al 1925.

METODOLOGIA

La metodologia di ricerca adottata in questo lavoro si è ispirata a quella applicata negli studi di sismologia storica svolti nell'ultimo ventennio dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) per migliorare il livello di completezza dei cataloghi sismici nazionali. Questa strategia consiste essenzialmente nello spoglio sistematico di fonti storiche "seriali" cioè fonti che riportano con cadenza regolare notizie sugli avvenimenti che si verificano in un ambito

Nella pagina a destra:
fig. 1 - Manoscritto delle memorie parrocchiali di S. Maria in Pantano di Montegallo (AP) del 12 febbraio 1929.
Fig. 2 - Fonti consultate e risultati della ricerca effettuata.

Tabella 1 - Distribuzione delle aree valanghive censite mediante inchiesta sul terreno dallo studio del 1992-1996.

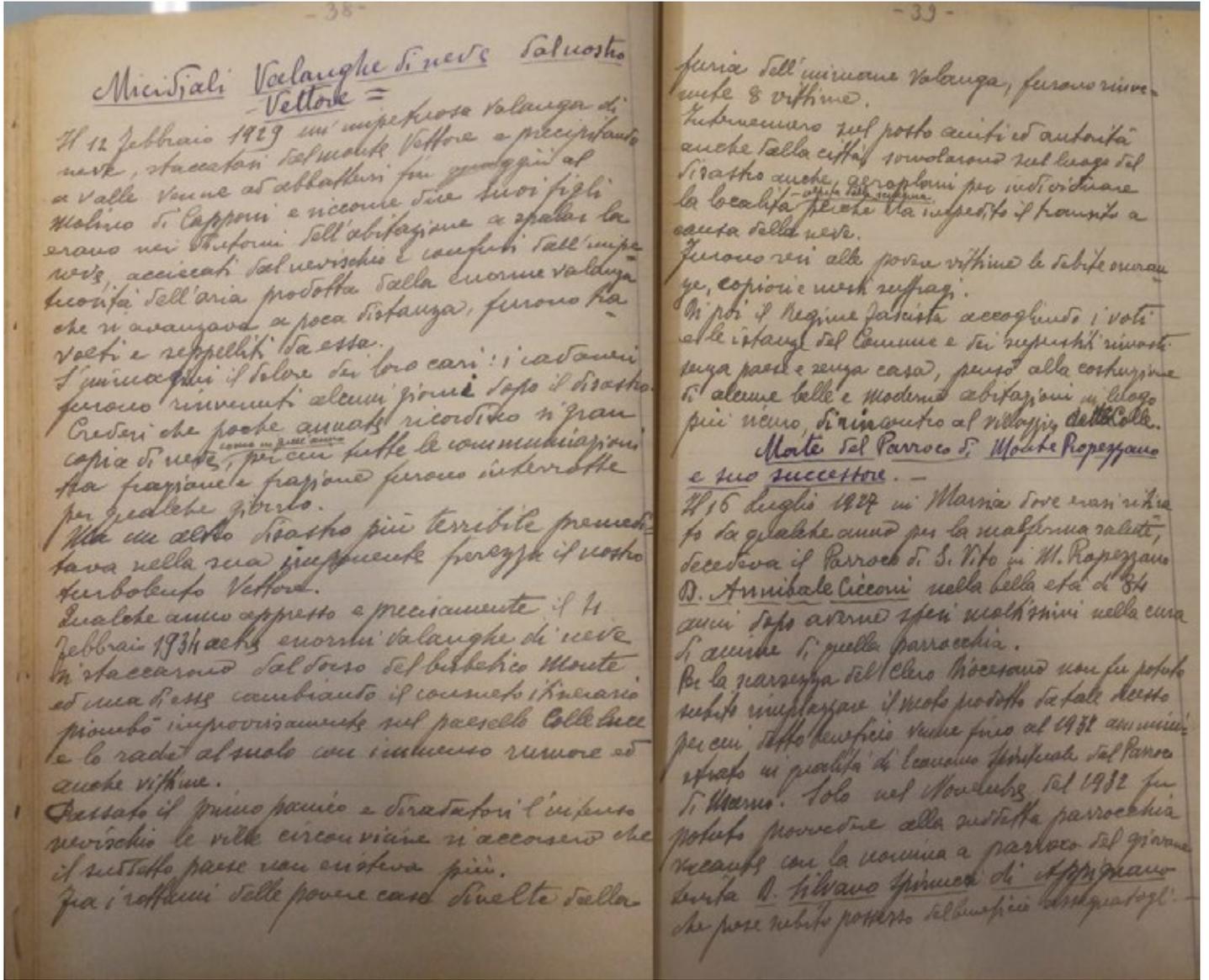
Provincia	Comune	Inchiesta Nevini
MC	Bologna	44
MC	Castel S. Angelo sul Nera	54
MC	Sarnano	21
MC	Ussita	43
AP (oggi FM)	Amandola	4
AP	Arquata del Tronto	19
AP	Montefortino	56
AP	Montegallo	12
AP	Montemonaco	50

© AINEVA

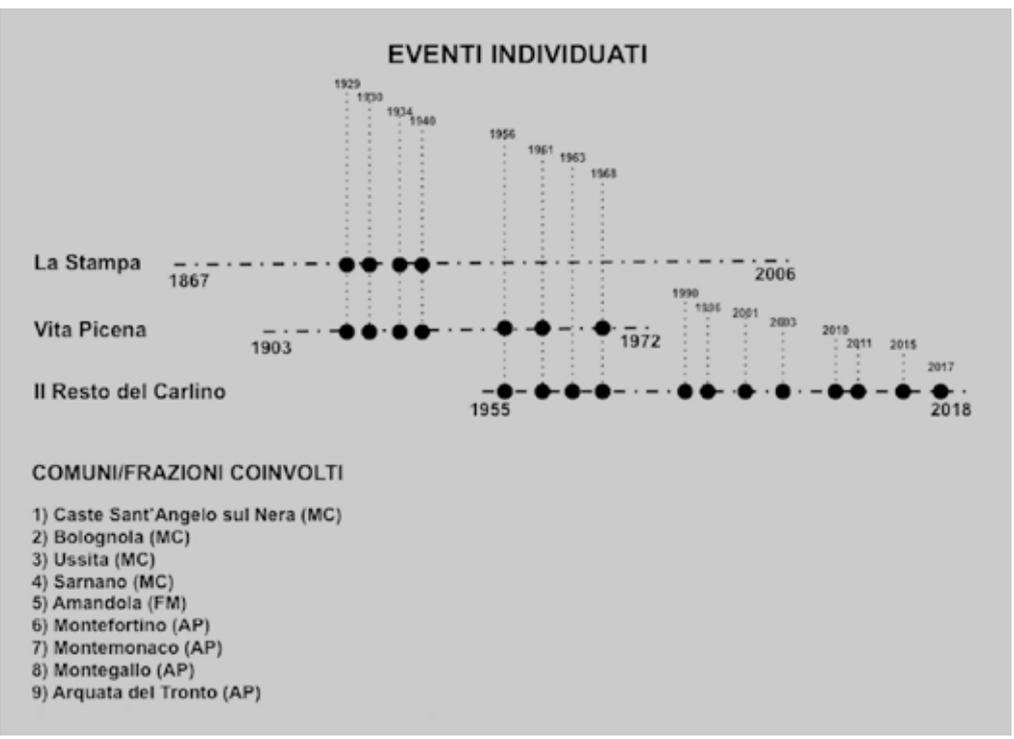
Tabella 2 - Periodo di pubblicazione delle testate giornalistiche della Diocesi di Ascoli Piceno.

Titolo	Pubblicazione	Periodicità	Consultazione
Il corriere piceno	1900 - 1903	Trimestrale	no
Il corriere di Ascoli	1904 - 1908	Trimestrale	Dal 1905 al 1908
Vita picena	1908 - corrente	Settimanale	Dal 1908 al 1972

© AINEVA



geografico definito, durante un ampio periodo di tempo. Fonti "seriali" per eccellenza sono i giornali (che cominciano a essere pubblicati in Europa a partire dal XVII secolo) e i diari privati, alcuni dei quali sono caratterizzati da una cadenza di registrazione quotidiana o quasi di fatti contemporanei alla vita dell'autore. L'analisi delle fonti storiche seriali si è dimostrato uno strumento di fondamentale importanza per il miglioramento delle banche dati di sismologia storica. Nel 2011 i risultati di un censimento di queste fonti hanno permesso di identificare e inventariare più di 200 terremoti italiani al di sopra della soglia di danno, verificatisi tra il XIII e il XX secolo, e in precedenza o del tutto sconosciuti (155 casi) o ritenuti non dannosi o sfuggiti alla inventariazione



CARTOGRAFIA

da parte dei cataloghi sismici. Per maggiori informazioni su questa campagna di ricerche, sulle fonti seriali utilizzate e sui risultati del censimento si rimanda a Camassi et al. (2011).

Nello specifico si è deciso di tentare un'analisi sistematica di fonti giornalistiche pubblicate nell'area limitrofa a quella di studio (i Monti Sibillini) in grado di coprire un ampio periodo storico e che fossero di immediata accessibilità. L'inchiesta si è focalizzata nei mesi da ottobre ad aprile, ovvero un intervallo temporale abbastanza ampio per non correre il rischio di perdere traccia di qualche fenomeno. Si è quindi fatta una ricerca preliminare su quali fossero le

pubblicazioni locali che potessero trattare notizie di interesse e quali fossero disponibili alla consultazione allo stato attuale, anche considerando che l'area di studio è tra quelle maggiormente colpite dagli effetti della devastante sequenza sismica iniziata ad agosto 2016. Il terremoto del Centro Italia, infatti, ha reso inaccessibili alla consultazione molte biblioteche in cui erano conservate collezioni complete di periodici di potenziale interesse, in primis il settimanale L'Appennino Camerte, pubblicato a Camerino (MC) dal 1914 a oggi.

La ricerca si è quindi focalizzata sul settimanale locale Vita Picena, organo di stampa della Diocesi di Ascoli Piceno,

pubblicato dal 1908 a oggi. (Tabella 2) A integrazione della consultazione del settimanale Vita Picena si è inoltre consultata la cronaca ascolana del periodico bolognese Il Resto del Carlino come fonte locale per il periodo 1955-2018, l'archivio storico del quotidiano torinese La Stampa, fonte non locale, (consultabile online) dagli anni 1867 ad oggi e alcune Cronache parrocchiali redatte a partire dagli anni '30 del Novecento e conservate nell'archivio storico della Diocesi di Ascoli Piceno (Figura 1).

La consultazione è iniziata partendo dall'anno 1905 attraverso il Corriere di Ascoli fino all'anno 2017 con il Resto del Carlino, visionando gli articoli dal mese di ottobre al mese di aprile, cioè quel periodo dell'anno interessato da neve e quindi possibili eventi valanghivi; il primo dato di valanga è stato riscontrato nell'anno 1929 (Figura 2)

RISULTATI

La ricerca svolta sulle fonti storiche dal 1905 al 2017 ha permesso di integrare ed aggiornare i dati sulle valanghe gestiti dal Centro Funzionale della Regione Marche nella Carta di Localizzazione Probabile delle Valanghe, con eventi avvenuti dal 1925 al 2017, migliorando la base di conoscenze sui comuni maggiormente colpiti da questo fenomeno naturale.

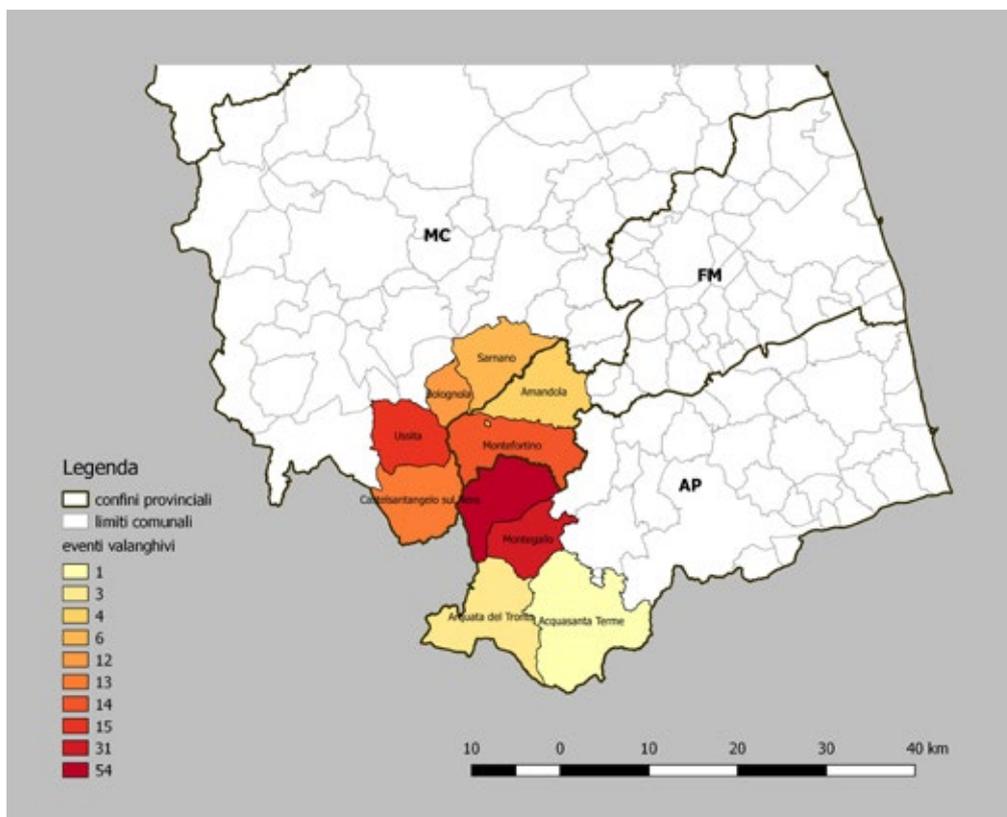
I dati acquisiti riguardano 96 eventi valanghivi verificatisi nel comprensorio dei Monti Sibillini tra il 1929 e il 2017 (Figure 3 e 4).

Di questi eventi, 74 sono completi di tutte le informazioni: data e luogo dell'evento, tipologia di danni e feriti, tipologia di valanga intesa come naturale o prodotta dall'uomo; mentre per gli altri 22 eventi si dispone di datazione incompleta e/o di una localizzazione non ben precisabile. Attraverso il risultato degli eventi completi sono stati incrementati i dati per ben 40 siti differenti, di cui 3 siti interessati da almeno un'evacuazione nel comune coinvolto dall'evento valanghivo, 8 siti interessati da vittime e 12 siti da feriti.

Fig. 3 - Distribuzione temporale degli eventi valanghivi individuati attraverso la ricerca storica nelle province di Macerata, Fermo e Ascoli Piceno per il periodo di tempo 1929-2017.



Fig. 4 - Distribuzione a livello comunale degli eventi di valanghe ottenuti dalla ricerca storica nelle province di Macerata, Fermo e Ascoli Piceno per il periodo di tempo 1929-2017.



Tutti i dati acquisiti sono stati inseriti all'interno di schede valanghive, suddivise per comune e sito numerato secondo quanto già stabilito per la CLPV. Tutto questo è servito per ampliare le informazioni già presenti con prima analisi del Nevini, ottenendo un quadro specifico ed uniforme per la catena dei Monti Sibillini.

SVILUPPI FUTURI

In questo articolo si è mostrato come la ricerca storica seguita, effettuata consultando pubblicazioni seriali, abbia condotto a risultati molto promettenti e incoraggianti. Ha consentito infatti di investigare e ricostruire eventi in un arco temporale molto lungo.

Si tratta dunque di una metodologia flessibile e perfettamente adattabile ad altri contesti. La consapevolezza delle valanghe del passato consente la valutazione della pericolosità di un territorio e quindi una più attenta valutazione della gestione e della stessa pianificazione territoriale.

Tuttavia questa ricerca può essere definita un inizio di quello che potrebbe essere un grande lavoro di indagine: in particolare modo è possibile ampliare le informazioni della stessa zona in esame, o restringere maggiormente l'area da approfondire, estendendo a ritroso la ricerca storica sull'area campione ai secoli precedenti l'anno 1900, attraverso l'uso delle diverse testate giornalistiche presenti in quegli anni; ad esempio, le fonti giornalistiche del periodo ottocentesco, molte delle quali oggi disponibili anche in formato digitale online (Figura 5).

Oppure estendendo la ricerca a tutto l'arco appenninico marchigiano utilizzando la stessa tipologia di fonti giornalistiche per lo stesso arco temporale, in modo da ottenere una mappatura omogenea dell'intero settore montano marchigiano.

Ciò che varia, a seconda del periodo e del contesto territoriale che si va a investigare, è la tipologia delle fonti da consultare.



Fig. 5 - La valanga del 1823 a Capodacqua (Accumoli, RT) in un articolo della Gazzetta di Genova (da Google Libri).

Bibliografia

- Camassi R., Castelli V., Molin D., Bernardini F., Caracciolo C.h., Ercolani E., Postpischl L. - Materiali per un catalogo dei terremoti italiani: eventi sconosciuti, rivalutati o riscoperti, Quaderni di Geofisica, 96 (2011), 51 p. <http://istituto.ingv.it/images/collane-editoriali/quaderni-di-geofisica/quaderni-di-geofisica-2011/quaderno96.pdf>
- Cappello A. - Osservazioni geologiche e memorie storiche di Accumoli in Abruzzo, Volume 2
- Benini G. - Sistemazioni idraulico-forestali - UTET
- Fraser C.- L'enigma delle valanghe - Zanichelli (BO)
- Höller P., Fromm R., Leitinger G. - Snow forces on forest plants due to creep and glide - Forest Ecology and Management
- Nevini R. - "La zonazione del pericolo di valanghe" Rivista NEVE E VALANGHE
- Nevini R. - "Avalanche zoning using a Geographic Information System (GIS)" Proceedings of the 25th International Conference on Alpine Meteorology, Torino
- Nevini R. - "Le Valanghe dei Monti Sibillini- Un paesaggio ascetico dove il pericolo di valanghe è una sorprendente realtà"
- Praolini A., Tognoni G., Turrone E., Valt M., - Le valanghe; prima edizione - Neve e Valanghe - Pubblicazioni A.I.Ne. Va





INCIDENTI DA VALANGA

prevenzione e
sicurezza in
montagna

- ▾ 2 **Sensemaking nella neve**
Un esame del lavoro cognitivo della previsione valanghe presso una stazione sciistica canadese
- ▾ 14 **Una giornata da (non) dimenticare**
Il racconto di Roberto e dei soccorritori che lo hanno trovato
- ▾ 20 **Incidenti da valanga in Italia**
Stagione 2018-2019

SENSE MAKING NELLA NEVE

Laura Maguire
The Ohio State University,
Columbus, OH, USA
Jesse Percival
Mt. Washington Alpine Resort,
Courtenay, BC, Canada

un esame del lavoro
cognitivo della previsione
valanghe presso una
stazione sciistica canadese

SENSEMAKING IN THE SNOW
Examining the cognitive work
of avalanche forecasting in
a canadian ski operation

The cognitive work of making sense of risk in avalanche forecasting is an under explored area in the field. This study examines the formal descriptions of how work is conducted in a Canadian ski operation and the 'as practiced' cognitive strategies employed by expert practitioners to successfully manage avalanche hazards in practice within a complex and changing mountain environment.

The three key findings were:

- 1) Much of the cognitive work required for forecasting is hidden in the explicit protocols;*
- 2) The cognitive effort needed to manage avalanche risk is a near continuous activity in season and;*
- 3) It is an inherently distributed cognitive task across both individuals, teams and the broader industry. These findings have important implications for the design and resourcing of the system of work surrounding professional avalanche forecasting.*

Il lavoro cognitivo necessario a comprendere il senso del rischio nell'ambito della previsione valanghe è un settore non ancora del tutto esplorato. Il presente studio prende in esame le descrizioni formali di come si svolgono le operazioni in una stazione sciistica canadese e le strategie cognitive "così come praticate" che i professionisti esperti utilizzano per gestire con successo il rischio valanghe nell'ambito di un ambiente di montagna complesso e variabile. Tre sono i risultati chiave dello studio: 1) molto del lavoro cognitivo richiesto per la previsione è nascosto nei protocolli specifici; 2) lo sforzo cognitivo necessario per gestire il rischio valanghe è un'attività di carattere quasi continuativo nella stagione; 3) si tratta di un compito cognitivo intrinsecamente distribuito tra gli individui, i team e il settore nel suo insieme. Queste conclusioni hanno implicazioni importanti per la pianificazione e il finanziamento del sistema di lavoro intorno all'attività di previsione valanghe professionale.

KEYWORD: cognizione, previsione valanghe, sensemaking, lavoro, rischio, sistemi cognitivi.





INTRODUZIONE

Questo studio analizza in che modo un team di previsione in servizio presso una stazione sciistica subalpina canadese si serve di una serie di strumenti, protocolli, pratiche esperte e competenze cognitive distribuite per la gestione del programma di sicurezza valanghe. L'articolo descrive gli aspetti operativi della gestione della sicurezza nella neve all'interno della stazione, così come definiti dalle linee guida approvate nel settore, e analizza gli artefatti che supportano l'ambito della pratica. Prende inoltre in esame tre importanti temi per un efficace lavoro di previsione, così come emersi dalla ricerca: 1) Si tratta di un'attività cognitiva distribuita; 2) E' un'attività quasi continuativa di aggiornamento dei modelli mentali e; 3) I protocolli esistenti celano molto del lavoro cognitivo essenziale necessario per eseguire questi compiti. Infine, si è discusso su cosa significano questi spunti per la comprensione e il supporto del lavoro cognitivo inerente alla previsione valanghe.

McClung (2002a) definisce la previ-

sione delle valanghe come "predizione dell'instabilità della neve attuale e futura nello spazio e nel tempo in relazione a un determinato livello di innesco del distacco della valanga". L'attività di catalogazione delle conoscenze nivologiche ebbe inizio alla fine dell'800 e nei primi anni del 900 sulle Montagne Rocciose Canadesi. Holler (2012) ha individuato l'importanza dei primi contributi, mentre White (2002) descrive l'evoluzione degli approcci della previsione e il passaggio di consegne dell'attività di controllo dai guardiaparchi ai gestori delle stazioni sciistiche. Da quei giorni in poi, il settore ha accumulato una corposa letteratura sugli aspetti tecnici della competenza professionale nel settore. In generale si è indagato di meno su come gli esperti mettono in pratica tali conoscenze e cosa costituisce le condizioni della pratica.

Nei primi anni 70 si ebbe una profusione di bollettini e manuali sulla previsione valanghe (Perla & Martinelli, 1976) oltre a numerosi resoconti descrittivi delle tecniche di previsione delle valanghe

in uso presso diverse stazioni sciistiche (Israelson, 1976; Anderson et al, 1976; Stethem & Hetherington; 1976; Gmoser, 1976; Wieggle, 1976). Nella loro brevità, queste descrizioni offrono un contesto utile per comprendere sia le diversità che le analogie presenti nei diversi comprensori.

Sforzi comuni tesi ad esaminare gli aspetti cognitivi del lavoro di previsione nella pratica si ebbero soprattutto con la vasta ricerca sul campo condotta da LaChappelle (1980). In questo lavoro egli dichiara provocatoriamente che "contrariamente all'idea diffusa da molti testi e metodi di apprendimento, la previsione valanghe così come effettivamente praticata non si basa sulle premesse della logica deduttiva, sostenendo che ogni specifico esempio di stabilità della neve si può evincere dalle regole generali sulla meccanica della neve. Piuttosto, segue la strategia pratica più utile per trattare con il mondo reale, quello che riduce al minimo l'incertezza" (p. 75). Questa prima analisi ha riconosciuto che il lavoro immaginato (da protocolli

normativi e procedure) non è lo stesso del *lavoro svolto* (Hollnagel & Woods, 1983). Malgrado questa prima curiosa scoperta, sono pochi gli studi successivi che ne hanno analizzato il significato. Il lavoro di ricerca degli anni 90 vide invece i primi tentativi di catalogare i processi cognitivi della previsione valanghe all'interno di un modello di sistemi esperti (Giraud, 1992; Schweitzer & Fohn, 1996) dove (così si sosteneva) l'uso della tecnologia potrebbe abbinare la competenza dei previsori umani con la potenza di elaborazione dei sistemi algoritmici automatizzati e superare così i limiti degli esperti umani. Simon (1969) sottolinea come questo sia un errore, in quanto tutti i sistemi cognitivi sono finiti – vi sono cioè limiti alla loro efficacia – che siano umani, macchine (*algoritmi*) o una combinazione di entrambi. E, alla luce di questa capacità finita, non sono infallibili. Per dirlo in un altro modo, è vero che gli umani hanno dei limiti, ma ciò vale anche per le macchine. Inoltre, scomporre l'intrinseca complessità della previsione in sistemi regolati da norme ha l'effetto di semplificare eccessivamente le competenze necessarie a svolgere con successo questo lavoro. È interessante notare come nelle linee guida osservazionali della Canadian Avalanche Association e negli standard di reporting su clima, manto nevoso e valanghe (OGRS), vi sono 7 esempi del termine "norma" 6 dei quali indicavano che una regola definitiva era impossibile! (il 7° esempio era descrivere una regola empirica e indicare che era necessaria una variabilità). Ciò indica chiaramente che il lavoro è complesso e non può essere portato a termine solo semplicemente seguendo le regole, mentre è invece legato al contesto. Stranamente, se da un lato all'interno della comunità di studiosi delle valanghe vi è una corposa letteratura sui fattori umani (Fesler, 1980; McCammond, 2009; Uttl et al., 2010) molta della letteratura si focalizza sugli errori e i pregiudizi, invece di comprendere le decisioni prese nel contesto e quali sono i processi co-

gnitivi che vengono usati per affrontare fattori quali la complessità e l'incertezza. Pur non essendo la tesi centrale dell'articolo, Branswell (2015) offre una prova descrittiva del contesto di lavoro in una stazione sciistica, focalizzandosi su un elemento di cambiamento. Questo inizia a gettare una luce sulle sostanziali trasformazioni della pratica professionale e del luogo di lavoro, trasformazioni legate al forte incremento del volume di sciatori, all'introduzione di nuove tecnologie (smartphone, InfoEx, bollettini meteo online), pratiche e normative, e agli effetti dei cambiamenti climatici. Vi è un'opportunità per il settore di utilizzare gli strumenti di esplorazione e i metodi di ricerca del Cognitive Systems Engineering (CSE), studio dei sistemi cognitivi, per una migliore comprensione di come l'ambito di lavoro informa le decisioni e le azioni all'interno del lavoro di previsione.

Qualche sforzo è stato fatto a questo fine, e McClung (2002a, b) ha esaminato 7 elementi che racchiudono la pratica professionale. Adams (2005) attinge al processo decisionale naturalistico e alla ricerca di sistemi per inquadrare l'espressione della competenza del previsore

valanghe in rapporto ai vari vincoli. Lo sviluppo iterativo dello scambio di informazioni nel settore (InfoEx) ha introdotto metodi di progettazione centrati sull'utente che cercano di comprendere le necessità e il contesto in cui lo strumento verrà utilizzato, aggiungendo informazioni su come il previsore svolge le sue mansioni (Haegli et al., 2014). Infine, Storm (2010) descrive l'impegno richiesto per le previsioni a lungo termine "compiute da previsori esperti che riescono a muoversi all'interno di modelli di larga scala e dettagli su piccola scala, creare validi quadri sinottici e prevedere scenari che tengono conto della psicologia del processo decisionale dell'utente, e infine individuare idee chiave e parametri che offrono supporto ai processi e agli strumenti di previsione nel breve termine" (pg. 180). Un ulteriore lavoro in queste direzioni può rendere più nitido il quadro su come meglio supportare il lavoro cognitivo dei previsori nell'affrontare l'ambiente di lavoro reale. In un ambito di lavoro reale, i professionisti devono saper bilanciare i limiti ambientali e di risorse (*la necessità di valutare e controllare un terreno valanghivo su una notevole distanza spaziale con un*



INCIDENTI DA VALANGA

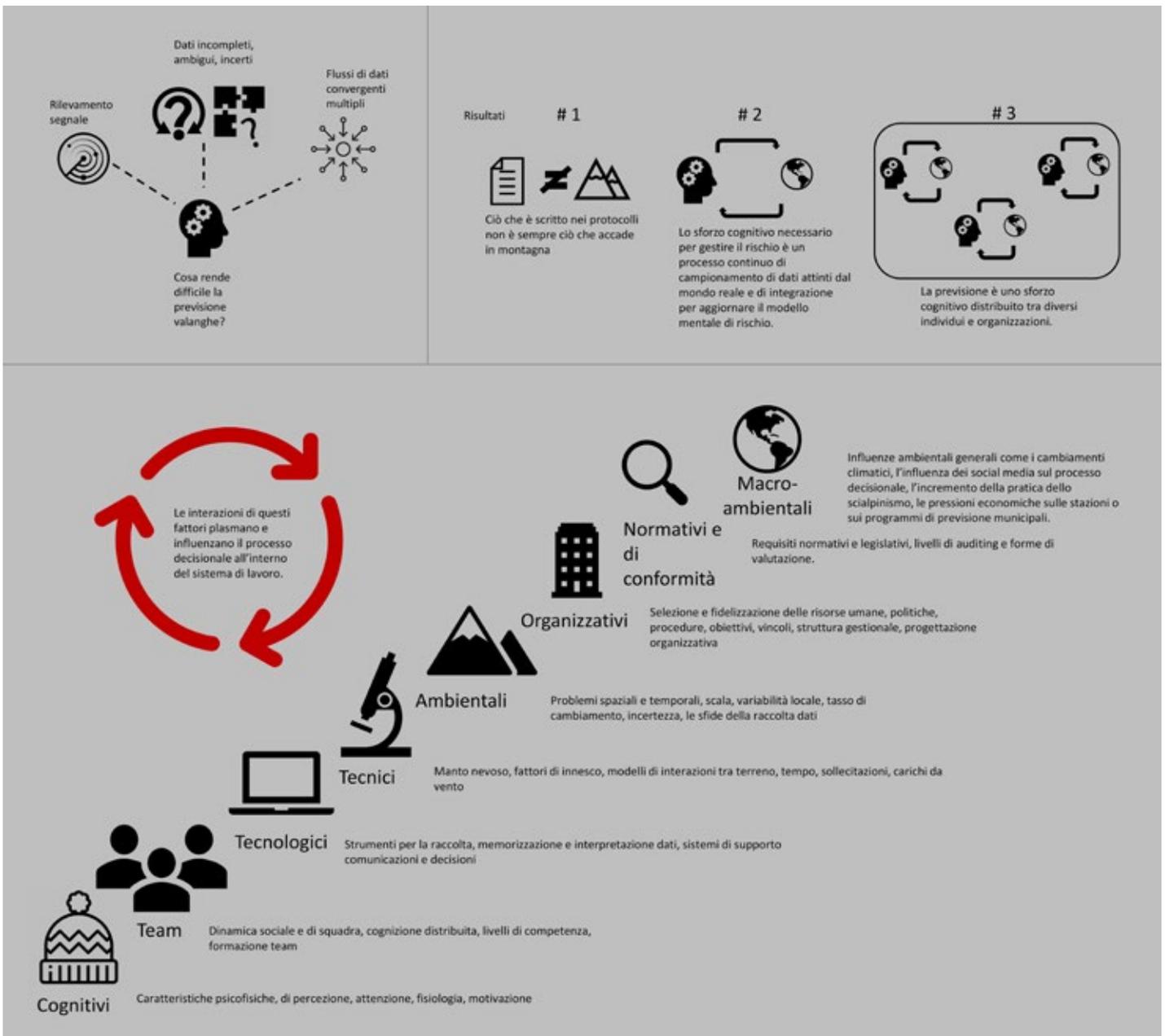
numero limitato di tecnici qualificati), multipli obiettivi contrapposti (come ad esempio assicurare che un lavoro di controllo esaustivo sia portato a termine nei tempi stabiliti così che una pista possa essere aperta in tempo per massimizzare l'esperienza degli ospiti), l'incertezza (anticipare l'impatto dell'accumulo di neve pesante o il carico da vento che si possono verificare mentre la stazione è pienamente operativa) e l'ambiguità (il pendio non ha scaricato per la presenza di una modesta angolazione in rapporto al taglio con gli sci o perché è stabile?)

La ricerca sui sistemi cognitivi ha svolto studi approfonditi in altre aree di rischio elevato/conseguenze elevate su come gli

esperti siano in grado di eseguire diversi compiti necessari, tra cui:

- I) Individuare segnali e suggerimenti pertinenti e separarli dal contesto di un mondo "rumoroso",
 - II) Affrontare il fatto di avere a disposizione dati parziali, incompleti e/o ambigui,
 - III) Suddividere i dati qualitativi e quantitativi multipli per formare una sintesi coerente per meglio sostenere l'attività di sensemaking attraverso una progettazione tecnologica e del lavoro che supporta quelle performance adattive e resilienti di cui i professionisti umani danno prova.
- Riconoscere queste condizioni ed esami-

nare in che modo esse influiscono sulla pratica mette alla prova le discussioni che sorgono intorno all'errore insito nell'attività di previsione. Un esito sfavorevole può non essere il risultato di un ragionamento sbagliato o un errore, è semplicemente un fattore insito nelle condizioni di lavoro e può rappresentare una temporanea incapacità di affrontare la complessità dell'incarico (Hollnagel, 2017). Inoltre, i previsori si trovano continuamente a fare i conti con l'incertezza che proviene da informazioni parziali o incomplete sui rischi, e devono prendere decisioni di compromesso nel proprio lavoro (vale a dire: *ci sarà un distacco da questo pendio mentre gli sciatori sono*





sulla pista, il che significa dover utilizzare esplosivi per controllare il pericolo, oppure il volume di traffico degli sciatori contribuirà a compattare la neve?) Questo non è un elemento illogico nel descrivere il lavoro nel contesto, ma è un aspetto studiato raramente, poiché sembra verificarsi senza sforzi apparenti. La 'Law of Fluency' di Woods riconosce che "un lavoro cognitivo ben adattato avviene con una facilità che nasconde le difficoltà delle richieste risolte e dei dilemmi soppesati" (Nemeth et al, 2016, p.689) particolarmente in settori caratterizzati da ambiguità e incertezza. Se il lavoro cognitivo di professionisti esperti sembra essere semplice, è facile allora sottovalutare gli sforzi richiesti. A seguito del distacco di una valanga, il clima di ambiguità e incertezza intorno alla stabilità (LaChapelle, 1980; McClung, 2002b; Adams, 2005;) viene meno e i segnali di minaccia si fanno espliciti e appaiono più evidenti. Scopo di questo studio è analizzare un giudizio esperto nel mondo reale. I modelli su come dovrebbe svolgersi la

previsione delle valanghe devono tenere conto delle caratteristiche del mondo in cui la previsione si verifica. Ciò viene descritto da Hutchins (1995) come operare nel 'laboratorio naturale'.

METODI

Branlat et al (2009) sottolineano che "l'osservazione diretta è uno degli approcci metodologici più frequentemente utilizzati e più validi nell'analisi delle attività degli operatori"; tuttavia, per motivi sia pratici che teorici, molti ambienti presentano importanti sfide all'effettiva implementazione di questa serie di tecniche (Guérin et al., 2006; Crandall et al, 2006)" (p.15).

Alla luce di questo, sono stati selezionati metodi etnografici per fornire gli strumenti atti ad esplorare i "dettagli intricati" (Nemeth et al, 2016) del lavoro reale minimizzando al contempo il rischio dell'eccessiva semplificazione. Lo studio ha attinto a diversi metodi, tra cui l'analisi dell'artefatto (Hutchins, 1995) e le tecniche di intervista semi-strutturata (McIntosh & Morse, 2015).

L'analisi dell'artefatto è stata condotta con il fine di sviluppare la comprensione di come gli strumenti utilizzati per la previsione valanghe in una stazione sciistica, sia tecnologici che analogici, rispecchiano e plasmano le condizioni di lavoro. Un esame rigoroso delle procedure stabilite e delle linee guida del settore ha consentito di formare un'ipotesi sui vincoli presenti nel settore e il grado di interazione tra i ruoli.

Per la parte iniziale dell'intervista si è utilizzata l'analisi del protocollo (Crandall et al, 2006) come una tecnica di deduzione delle conoscenze che si focalizza sul modo in cui il previsore di turno ha compilato il bollettino valanghe. Si è fatto ricorso all'approccio di un'intervista semi-strutturata per analizzare la variazione delle single performance. McIntosh & Morse (2015) ne sottolineano l'utilità "quando vi è una sufficiente conoscenza oggettiva di un'esperienza o fenomeno, ma manca la conoscenza soggettiva" (p. 1).

Infine, sono stati riportati casi in cui i previsori a sorpresa si sono trovati di



fronte a un risultato inatteso durante la loro attività. I risultati legati a questi casi sono stati utilizzati per fornire la prova convergente del lavoro cognitivo nella pratica.

RISULTATI

La cima più alta della stazione è a quota 1588 m, lo skilift più in basso è posizionato a quota 1083 m, con terreno valanghivo a livello del limite del bosco e sottostante. Gran parte del terreno valanghivo è in corrispondenza delle esposizioni da NE a NW, oltre a una porzione molto piccola che guarda a SE-SW. La maggior parte dei percorsi valanghivi presentano zone di distacco multiple con pochi tracciati e un dislivello verticale di 100-200 m. Le esposizioni nord e est si affacciano sullo Stretto di Georgia con venti prevalenti da SW/SE, e dunque gran parte dei modelli di carico si trovano tipicamente in corrispondenza delle esposizioni NW. In questa località dal clima marittimo, le sfide maggiori sono lo zero termico e l'instabilità della neve fresca. Pur trovandosi nell'ombra pluviometrica dello Strathcona Park, la stazione è caratterizzata da una media di precipitazioni annue di 2200 mm.

Per la presenza di un clima marittimo e la notevole altezza media del manto nevoso, il lavoro di controllo si concentra perlopiù sull'instabilità della neve

fresca. L'attività di controllo delle valanghe si svolge con pratiche quali il taglio con gli sci, il taglio delle cornici, l'uso di cariche a mano e, molto raramente, l'uso di cannoni antivalanghe. L'inverno 2007-08 è stato un inverno anomalo, con scarsità di neve e instabilità di fondo. È stato implementato un programma di compattamento del manto con piedi e sci per risolvere con efficacia il problema, un programma ancora oggi incluso nell'Avalanche Safety Plan, il piano di sicurezza antivalanghe.

Il controllo dell'accesso alle aree valanghive definisce le aree evidenziate sia visivamente che con una descrizione scritta. La mappa zonale individua e comunica il pericolo e il rischio valanghe a tutti i membri dello staff della stazione che si possono trovare esposti nelle zone di lavoro operative, come gli skilift o le aree di preparazione delle piste. La mappa viene inoltre usata per indicare le chiusure e viene aggiornata prima dell'inizio dei turni e alla fine del giorno. Il sistema di mappatura viene usato per trasmettere le informazioni sul rischio valanghe nel corso dei meeting, così che i team possano pianificare ogni necessaria correzione di determinate mansioni o del terreno fino a che il grado di rischio diminuisce e l'area viene riaperta al pubblico.

Il team di sicurezza sulla neve fa par-

te di una squadra di esploratori su sci di 30 persone e comprende 3 membri professionisti della Canadian Avalanche Association (CAA) con certificazioni di livello 2 che si avvicendano all'interno del ruolo di previsore in servizio (FOD), 6 membri attivi con certificazione livello 1 (3 componenti al momento infortunati o incinta e dunque non operativi) e 2-4 tecnici in fase di formazione. Due componenti del team di sicurezza lavorano tutto l'anno presso la stazione. Il turnover è mediamente del 20-25% annuo. Un componente con livello 2 è anche responsabile di pattugliamento/programma valanghe. Tutti gli addetti al controllo delle valanghe sono tenuti a rispettare regolamenti provinciali e a sostenere corsi di formazione interni per la manipolazione delle cariche. Il responsabile deve richiedere annualmente una licenza nazionale per l'immagazzinaggio degli esplosivi attraverso il servizio di regolamentazione esplosivi del Dipartimento delle risorse naturali del Canada.

Operazioni di start up

Se l'attività di reclutamento è un processo continuo di individuazione dei potenziali candidati esterni e interni (team di pattugliamento) e di formazione dei membri interni del team di sicurezza sulla neve, il processo di assunzione viene generalmente completato in agosto-ottobre in vista della stagione imminente. Le attività che precedono l'apertura della stazione consistono nella formazione, pianificazione, rinnovo delle autorizzazioni per ordinare e ricevere esplosivi, pulizia e sistemazione di attrezzature e impianti, creazione di check-list prestagionali conformemente all'Avalanche Safety Plan (ASP), piano sicurezza valanghe, e, con il formarsi del manto nevoso, la segnalazione dei rischi, l'installazione di apparecchiature di protezione e l'esecuzione di attività di compattamento manuali.

Operazioni giornaliere

La stazione di montagna si trova a circa 30 minuti dalla città più vicina e la mag-

gior parte degli addetti sono pendolari. Poiché le attività di previsione si svolgono prima di gran parte delle altre operazioni previste in montagna, il previsore in servizio si reca nella stazione spesso condividendo l'auto con il previsore del giorno prima. Come da procedure, il previsore inizia il suo lavoro alle 5.30 di mattino con le osservazioni meteo standard presso la stazione meteo di base, quindi aggiorna i bollettini pubblici giornalieri (snowphone e sito web) e comincia a raccogliere i dati necessari per elaborare un piano di controllo come specificato dal piano valanghe.

Le origini del lavoro di controllo risalgono alla metà degli anni '80, quando alcuni incidenti occorsi agli operatori nel tagliare la neve con gli sci convinsero ad adottare la tecnica di controllo mediante esplosivi. Nel 2005, i lavori di ampliamento della stazione hanno esposto turisti e personale a maggiori pericoli ed è cresciuto il rischio valanghe. Nel 2007, il piano sicurezza valanghe venne formalizzato in un programma di sicurezza nella neve fresca che stabiliva qualifiche per i previsori, requisiti per

la raccolta e la conservazione dei dati sulla valutazione del rischio, e la partecipazione al programma di condivisione delle informazioni. Le modifiche in corso al piano prevedevano le qualifiche per gli specialisti delle valanghe, protocolli nuovi e riveduti per l'uso degli esplosivi, formazione, procedure di sicurezza sul lavoro, flussi di comunicazione all'interno del team e attività in montagna, terreni valanghivi conosciuti raggruppati in zone, oltre a fornire modelli per la raccolta sistematica dei dati e la valutazione del rischio. Sono poi stati integrati i nuovi requisiti normativi in materia di sicurezza e salute sul lavoro e la manipolazione e l'immagazzinaggio degli esplosivi, oltre agli aggiornamenti delle linee guida del settore, in modo da assicurare la conformità con le normative e la best practice.

Artefatti del lavoro di previsione

L'Avalanche Forecast Worksheet (AFW), foglio di lavoro di previsione valanghe, è una componente chiave della gestione giornaliera della sicurezza operativa. Nel compilare il foglio di lavoro il previsore

INCIDENTI DA VALANGA

consulta i bollettini di previsione valanghe e altri record interni dei giorni precedenti, inclusi i bollettini delle osservazioni meteo, i fogli del profilo stratigrafico e gli elenchi preparati da altri membri del team. Dopo aver revisionato i record interni, il previsore consulta numerosi strumenti di previsione meteo: il Sistema di telemetria della stazione, il Sistema di previsione North American Mesoscale (NAM); il Global Forecast System (GFS), sistema di previsioni globali; il Global Environmental Multiscale - Local Assessment Model (GEMLAM), modello di valutazione locale multiscale ambientale; le previsioni meteo di montagna e le previsioni idrologiche costiere. Gli strumenti di previsione meteo vengono usati per "ficcare il naso" e vedere quanta neve c'è sulla pista" come dice un partecipante, per valutare le condizioni meteo attuali e redigere il "nowcast" e, cosa importante, gli attesi cambiamenti dei vari fattori meteorologici che influiscono sulla stabilità della neve, in modo da elaborare le previsioni del giorno, le previsioni per la sera e le attività del giorno successivo.



INCIDENTI DA VALANGA

Per altri dati, si fa riferimento anche a specifiche risorse sulle valanghe come InfoEx – il servizio su abbonamento che offre informazioni tecniche su neve, clima, valanghe e terreno – oltre che ai blog e ai bollettini giornalieri diffusi dagli esperti meteorologi e previsori valanghe nella regione. Le trasmissioni InfoEx vengono effettuate quotidianamente nel corso della stagione da parte di qualificati professionisti delle valanghe in Canada occidentale attraverso canali come attività commerciali, enti di trasporto e infrastrutture pubbliche e private.

Lavoro cognitivo e coordinamento

Avvalendosi di tali risorse, il previsore crea una valutazione del rischio valanghe attuale e anticipa il modo in cui il rischio può variare nel corso della giornata. Questa valutazione viene trascritta sul foglio di lavoro di previsione valanghe e forma le basi del piano di controllo, che informa il necessario coordinamento tra i responsabili del team su pista e i tecnici delle valanghe. Il previsore in servizio comunica le chiusure agli altri dipartimenti di gestione di montagna, quindi queste informazioni vengono trascritte su una mappa e utilizzate negli incontri sulla sicurezza del mattino e della sera. Durante i suoi spostamenti in cima alla montagna (su skilift o gatto delle nevi) il previsore raccoglie continuamente appunti per informare la sua valutazione. Si esamina la stazione meteo di montagna più alta e si eseguono revisioni al piano in tempo reale, mentre il team predispose le cariche nel rifugio in cima. I team si spostano su sci lungo tracciati predefiniti, eseguendo misure di controllo (cariche a mano o esplosivi) e riportando i risultati. Il ripetersi ciclico delle operazioni sul terreno per l'intera giornata da parte del previsore e del team di tecnici assicura una rappresentazione accurata dei rischi soggetti a cambiamenti. Nel riferire incidenti critici recenti, i partecipanti allo studio hanno descritto eventi in cui la natura dell'incidente, l'elevato carico di lavoro o la carenza di organico hanno di fat-

to limitato la loro capacità di muoversi sulla montagna e di "sentire la neve sotto gli sci".

DISCUSSIONE

L'analisi della previsione efficace ha fatto emergere tre temi predominanti.

1. Molto del lavoro cognitivo necessario per la previsione è nascosto nei protocolli espliciti.

La rappresentazione formale scritta di ciò che costituisce la "buona pratica" nell'ambito della previsione non è una frazione delle effettive strategie che gli esperti usano per svolgere il proprio lavoro. Ciò significa che elementi critici per capire il senso del rischio valanghe possono essere sminuiti o anche sparire sotto la pressione della produzione. Quando tali elementi rimangono nascosti, non sono adeguatamente supportati in rapport al budget, ai flussi di lavoro o al coordinamento con altri esperti.

2. Lo sforzo cognitivo necessario per gestire il rischio valanghe è un'attività di carattere quasi continuativo nella stagione.

La natura del lavoro cognitivo nell'ambito della previsione sembra richiedere una continua ricalibratura. Ogni interruzione di questo processo di ricalibratura ha effetti negativi sulle prestazioni. Ciò non significa che i previsori non possono avere giorni liberi durante la stagione, ma questo dato sottolinea la necessità che gli strumenti e gli artefatti che essi utilizzano siano aggiornati e vengano riorientati il più velocemente possibile e in maniera continuativa.

3. La previsione è una funzione cognitiva intrinsecamente distribuita attraverso gli individui, il team e il settore più in generale.

Una previsione riuscita richiede un team di professionisti distribuiti. È del tutto evidente come all'interno di una stazione sciistica servano membri del team "locali", ma le risorse e le conoscenze fornite da altri all'interno del settore si possono ugualmente consi-

derare come una componente necessaria della rete cognitiva richiesta per la previsione. Una più ampia visione del sistema consente di adottare strategie di coordinamento e collaborazione che riducono al minimo ogni sforzo aggiuntivo.

Questi temi sono ampiamente interconnessi e vengono meglio descritti tramite esempi attinti dai risultati.

Preparativi per la previsione

Ufficialmente, la giornata di un previsore inizia alle 5.30 di mattino (come sono scritti, i protocolli suggeriscono che un previsore può arrivare sul posto e redigere un piano di controllo) ma ogni previsore interpellato ha esposto in dettaglio preparativi su larga scala non ufficialmente annotati. Un previsore spiega di avere installato un pluviometro sul proprio piano di lavoro a livello del mare, così da poter cominciare a formulare una previsione degli accumuli più in alto sulla montagna prima di bere la sua prima tazza di caffè. Analogamente, altri interpellati hanno descritto di aver sentito i venti crescere di intensità, sperimentato variazioni di temperature o notato un traffico di sciatori inferiore al previsto, che hanno fatto loro pensare "cosa immagino che stia succedendo sulla montagna?", o elaborato previsioni. Inoltre, gran parte di loro riferiscono di avere riesaminato le risorse online, o di aver chiamato il previsore in servizio per un aggiornamento sulla sera prima di tornare al lavoro, per cercare di capire che cambiamenti ci sono stati, soprattutto quando possono essersi verificati nuovi casi di instabilità o variazioni di temperature. Il team di pattuglia si reca spesso in montagna condividendo l'auto e trascorre mezz'ora a discutere su che tipo di attività, se mai c'è stata, sia stata notata, le misure di controllo impiegate, il volume di traffico di sciatori sul terreno valanghivo. Ulteriori informazioni si hanno da dettagli visivi come l'altezza e la consistenza della neve, il carico della neve sugli alberi e l'intensità dei venti sulla strada durante gli spostamenti in

auto. Questo ci porta a dire che la previsione del giorno inizia molto in anticipo sulla procedura scritta e che un previsore è pronto ad entrare in servizio avendo già una sua ipotesi di come le condizioni meteo recenti e della notte influiranno sul terreno valanghivo di loro competenza, e le attività aggiuntive sono una componente critica di un lavoro "in servizio" riuscito.

Questo esempio corrobora in maniera concisa tutti e tre i punti. Prova che le attività "nascoste" sono una pratica comune (e probabilmente necessaria) non esplicitamente riportata nei protocolli di lavoro formali, e mostra la necessità di una continua ricalibratura di come le condizioni cambiano. È particolarmente interessante notare come i previsori abbiano cercato di ricorrere a questa procedura nei momenti in cui l'incertezza e la complessità crescevano. È altresì ben documentato che il lavoro di previsione si svolge sotto la pressione del tempo e cercando dati che possano aiutare a prevedere in anticipo le condizioni, il previsore in servizio si alleggerisce in parte di questa pressione creando fasi di attesa nel sistema onde attenuare le esigenze cognitive che vengono loro richieste al momento di iniziare "ufficialmente" il lavoro.

Interruzione, adattamento e sorpresa

Un secondo esempio è tratto dagli incidenti critici descritti dai partecipanti allo studio. Un previsore in servizio ha ricordato un incidente in cui rimasero sorpresi dal distacco inatteso di una valanga all'interno della stazione. Il piano del giorno prevedeva potenziali instabilità, il lavoro di controllo si era svolto come previsto e vi era la consueta previsione che il costante monitoraggio delle variazioni di temperature avrebbe permesso di decidere delle chiusure nel caso in cui il rischio fosse materialmente cambiato durante le attività. Tuttavia, durante il giorno uno dei membri della squadra di controllo ebbe un'urgenza personale e dovette lasciare prima il lavoro, lasciando il team con una persona in meno.

Simultaneamente, un caso urgente di primo soccorso impegnò i membri del team, altrimenti impegnati ad esplorare con gli sci il terreno valanghivo per individuare ogni possibile variazione. Il previsore in servizio rimase così da solo sul versante della montagna più a lungo di quanto previsto dalla normale rotazione del personale. La sua consueta pratica di avvicendamento con altri operatori sul terreno fu così interrotta. Le temperature aumentarono e si ebbe un distacco innescato da uno sciatore in una delle aree valanghive. Questo esempio è istruttivo in due modi. Il primo è che esso rispecchia come il "normale lavoro" è davvero, vale a dire il doversi adattare costantemente alle esigenze del carico di lavoro, alla disponibilità di risorse prevista ed effettiva, implementare nuove pratiche per reagire alle condizioni e bilanciare le conseguenze, che sono una parte inevitabile del lavoro sul campo. Questa variabilità è una componente attesa del lavoro di previsione: le linee guida osservative della Canadian Avalanche Association (OGRR) evidenziano come "il tipo di attività e la disponibilità di osservatori potrebbero richiedere frequenze e tempi diversi" (p. 15) per le osservazioni. Questo sta a significare che vi è una vera e propria "area grigia" nel lavoro di previsione che viene lasciata alla discrezione professionale e che merita di essere esaminata in relazione al modo in cui i professionisti delle valanghe apportano le proprie conoscenze all'interno del contesto.

Modelli mentali

Il secondo modo in cui l'esempio è istruttivo è che esso fornisce la prova che i professionisti del settore si costruiscono modelli mentali (Adams, 2005) e lavorano continuamente per aggiornarli. "I modelli mentali sono i meccanismi per mezzo dei quali gli umani sono in grado di creare descrizioni del fine e della forma del sistema, spiegazioni del funzionamento del sistema e degli stati di sistema osservati, nonché previsioni di stati di sistema futuri" (Rouse & Morris, 1985, p.

351). I modelli mentali vengono usati per il recupero delle conoscenze tecniche e della capacità di applicare in modo flessibile quelle conoscenze alle situazioni che un professionista deve affrontare. Poiché le condizioni cambiano costantemente, i modelli mentali diventano datati e obsoleti e dunque vanno costantemente aggiornati. In questo esempio specifico, il modello si è rivelato insufficiente appena poche ore dopo che è stato rimosso. Nell'esempio precedente, quando il previsore ritorna al suo lavoro dopo qualche giorno di ferie, sa bene che il suo modello è ormai obsoleto e allora cerca informazioni per ricalibrare. LaChapelle (1980) descrive una "...marcata e diffusa riluttanza dei previsori in servizio ad interrompere la loro routine invernale ..." (pg. 78) ed evidenzia il ruolo di superfluità e ripetizione che supporta questa interpretazione.

Sforzi cognitivi distribuiti

Altrettanto importante è il ruolo di una rete distribuita nel mantenere quel modello mentale: ogni professionista necessita di una serie eterogenea di punti di vista informati da diverse esperienze, set di conoscenze e mentalità per poter stare al passo con il mutare delle condizioni. Il programma previsto per il previsore in servizio viene pianificato per avere un giorno in più, in modo da rispondere all'esigenza della cognizione distribuita. Questo è un riconoscimento esplicito sia dell'importanza di assicurare la validità del modello mentale che delle interazioni tra i professionisti. Gli scambi di opinioni consentono il trasferimento di conoscenze, offrono l'opportunità di attirare l'attenzione su un dettaglio particolare e di condividere le competenze. La necessità di uno sforzo cognitivo distribuito nasce anche dai limiti spaziali e temporali. Una volta elaborata una previsione, essa va continuamente ricalibrata sul campo. Problemi come l'ampiezza del terreno da coprire, unitamente alle difficoltà di spostare i tecnici delle valanghe dal fondo alla cima del pendio prima che aprano gli skilift, possono far



nascere sfide spaziali. La stagione invernale buia, con la luce diurna che arriva più tardi, mentre le normative impongono che vi sia la luce dell'alba per poter vedere i risultati dell'uso degli esplosivi o del taglio con gli sci creano una tensione temporale, con il team impegnato al massimo per completare l'attività di controllo prima che aprano le piste alle 9 di mattina. In questo modo il previsore in servizio si affida al team di tecnici per controllare in modo efficiente il terreno con gli sci, raccogliere la maggior quantità di dati possibile in tempo reale, per poi ritrasmetterli insieme a una valutazione. Senza "la conoscenza locale" di ogni area valanghiva identificata, il modello mentale del previsore non può che garantire una rappresentazione parziale delle condizioni. Questa esigenza stessa è continua, mentre i tecnici si recano ripetutamente nelle zone di loro competenza nel corso della giornata, riferendo poi al previsore e contribuendo a garantire la validità del proprio modello mentale in merito al rischio valanghe. Come notato nell'esempio precedente, l'interruzione di questa costante ricalibratura (attuata attraverso il campionamento

diretto o integrando e interpretando il feedback proveniente da terzi) dà come risultato una "sorpresa situazionale" (Wears & Webb, 2011) in cui il previsore viene colto in contropiede dalle mutate condizioni. Alcune interpretazioni potrebbero semplicemente etichettare questo come un "errore umano", ma questo esempio fornisce una prova che il lavoro cognitivo della revisione *richiede* un feedback continuo dall'ambiente e interrompere questo importante flusso di informazioni può tradursi in un giudizio esperto compromesso.

CONCLUSIONI

Questo studio eseguito in una stazione sciistica sulla costa canadese fornisce 3 importanti risultati. 1) molto del lavoro cognitivo richiesto per la previsione è nascosto nei protocolli espliciti; 2) è un'attività quasi continuativa nella stagione; 3) è un compito cognitivo intrinsecamente distribuito tra individui, il team e il settore in generale. Questi risultati ampliano la discussione sulle fonti di errore nella previsione delle valanghe, offrendo una comprensione più sfumata di come i previsori usano

una varietà di strategie e metodi per valutare i rischi presso le stazioni sciistiche. Ponendo in relazione queste tecniche esperte con il sistema di lavoro circostante (ad esempio l'entità della squadra, le qualifiche e la distribuzione e le risorse tecnologiche) si ottengono spunti interessanti relativamente al loro ruolo e utilità nell'ambito del lavoro cognitivo. La futura analisi delle varianti di strategie cognitive nei vari contesti professionali (sci meccanizzato, ambiti di trasporto e industriali, guide di scialpinismo) sarà probabilmente preziosa nel fornire dati specifici al contesto che si possono utilizzare per ridurre al minimo gli incidenti e migliorare la resilienza organizzativa di fronte a un incidente. Inoltre, confrontando e contrapponendo strategie cognitive esperte con strategie per il tempo libero si possono ottenere risultati utili a perfezionare le attività di prevenzione per la sicurezza. Lo studio dei sistemi cognitivi offre nuovi strumenti e conoscenze alle comunità impegnate nel campo della sicurezza valanghe e in montagna. Esplicitare il lavoro cognitivo, riconoscere formalmente i modi in cui avviene l'aggiornamento



continuo ed evidenziare le interazioni tra le competenze cognitive distribuite è importante per il settore, poiché queste tacite strategie possono contribuire a: sviluppare la formazione e accelerare il processo di apprendimento di previsori e guide; tutelare o generare finanziamenti per risorse critiche all'interno della rete distribuita, come bollettini, blog, siti di previsione meteo; sviluppare nuove forme di coordinamento tra team locali e regionali; e infine perfezionare o sviluppare nuove forme di strumenti di supporto decisionale per facilitare le attività di previsione.

RISCONOSCIMENTI

Laura ringrazia Jesse e il team di previsione per la loro passione e le loro meditate riflessioni, la Canadian Avalanche Foundation per il supporto fornito per poter partecipare all'International Snow Science Workshop e RIC Et AB per il loro interesse e il loro contributo.

Jesse ringrazia la Canadian Avalanche Association, la stazione Mount Washington, Allan Dennis, Kevin Fogoline e Jason Chrysfidis per il loro costante sostegno e supporto.

Bibliografia

- Adams, L. (2005). A systems approach to human factors and expert decision-making within Canadian Avalanche Phenomena. MALT Thesis. Royal Roads University, Victoria, BC, 284.
- Branswell, L. (2015). Analysis and recommendations for Whitewater's avalanche control and reporting procedures.
- Canadian Avalanche Association (2014). Observation Guidelines and recording standards for weather, snowpack and avalanches. Retrieved from: www.avalancheassociation.ca
- Crandall, B., Klein, G., Klein, G. A., & Hoffman, R. R. (2006). Working minds: A practitioner's guide to cognitive task analysis. MIT Press.
- Fesler, D. 1980. Decision-making as a function of avalanche accident prevention, Assoc. Committee on Geotechnical Research, National Research Council, Canada, Technical Memorandum 133, Ottawa, Canada, 128-136.
- Giraud, G. (1992, October). MEPR: an expert system for avalanche risk forecasting. In International Snow Science Workshop, Breckenridge, CO (pp. 97-104).
- Gmoser, H. (1976, November). Dealing with avalanche problems in helicopter skiing. In Proceedings of the International Snow Science Workshop, Banff, Canada (pp. 252-259).
- Haegeli, P., Obad, J., Harrison, B., Murray, B., Engblom, J., Nefeild, J. (2014). Infoex™ 3.0—Advancing the Data Analysis Capabilities of Canada's Diverse Avalanche Community
- Höller, P. (2012). About the Practical Knowledge to Understand Snow Avalanches—A Chronology. In Natural Disasters. InTech.
- Hollnagel, E. (2017). Why is work-as-imagined different from work-as-done?. In Resilient Health Care, Volume 2 (pp. 279-294). CRC Press.
- Hutchins, E. (1995). Cognition in the Wild. MIT press.
- Israelson, C. 1978. An approach to ski area avalanche control. p. 19-23. Proceedings of a Workshop on Avalanche Control, Forecasting and Safety. Banff, Alberta. Perla, R.I., editor. National Research Council of Canada Associate Committee on Geotechnical Research Technical Memorandum 120. 301 p. Ottawa, Ontario.
- LaChapelle, E. R. (1980). The fundamental processes in conventional avalanche forecasting. J. Glaciol., 26(94), 75-84.
- McCammon, I. (2009). Human factors in avalanche accidents: Evolution and interventions. In International Snow Science Workshop (Vol. 27, pp. 644-648).
- McClung, D. M. (2002a). The elements of applied avalanche forecasting, Part I: The human issues. Natural Hazards, 26(2), 111-129.
- McClung, D. M. (2002). The elements of applied avalanche forecasting, Part II: the physical issues and the rules of applied avalanche forecasting. Natural Hazards, 26(2), 131-146.
- McIntosh, M. J., & Morse, J. M. (2015). Situating and constructing diversity in semi-structured interviews. Global qualitative nursing research, 2, 2333393615597674.
- Nemeth, C. P., Cook, R. I., & Woods, D. D. (2004). The messy details: insights from the study of technical work in healthcare. IEEE Transactions on Systems Man and Cybernetics- Part A Systems and Humans, 34(6), 689-692.
- Perla, R. I., & Martinelli Jr, M. (1976). Avalanche handbook. Avalanche handbook., (489).
- Rouse, W. B., & Morris, N. M. (1986). On looking into the black box: Prospects and limits in the search for mental models. Psychological bulletin, 100(3), 349.
- Schweizer, J. and Fohn, P. M. B.. 1996. Avalanche forecasting—an expert system approach. J. Glaciol., 42(141), 318-332.
- Simon, H. A. (1996). The sciences of the artificial. MIT press.
- Stethem, C., & Hetherington, J. (1978). Whistler Mountain avalanche control programme. Canada. National Research Council. Technical Memorandum, (120), 24-29.
- Storm, I., (2010) The Canadian Avalanche Centre's Long-Range Forecasting Programme, International Snow Science Proceedings.
- Uttl, B Human Factors in Avalanche Avoidance and Survival: Consequences of Violating the Rules of Safe Travel
- Wears, R. L., & Webb, L. K. (2014). Fundamental on situational surprise: A case study with implications for resilience. Resilience engineering in practice, 2, 33-46.
- White, B., (2002) Development of Avalanche Safety and Control Programs in the Canadian Rocky Mountain National Parks - A Historical Perspective. International Snow Science Proceedings.
- Woods, D. D., & Hollnagel, E. (2005). Joint cognitive systems: Foundations of cognitive systems engineering. CRC Press.

6 marzo 2018, una
potenziale tragedia
che, fortunatamente,
rimarrà solo una
storia da raccontare!

UNA GIORNATA da *non* DIMENTICARE

Roberto Ferrino

Scialpinista e protagonista
dell'incidente

Simona Cavallo

Anestesista Rianimatore AOC città
della Salute e della Scienza di Torino

Maura Accusani

Infermiera elisoccorso

Il Tecnico di Elisoccorso

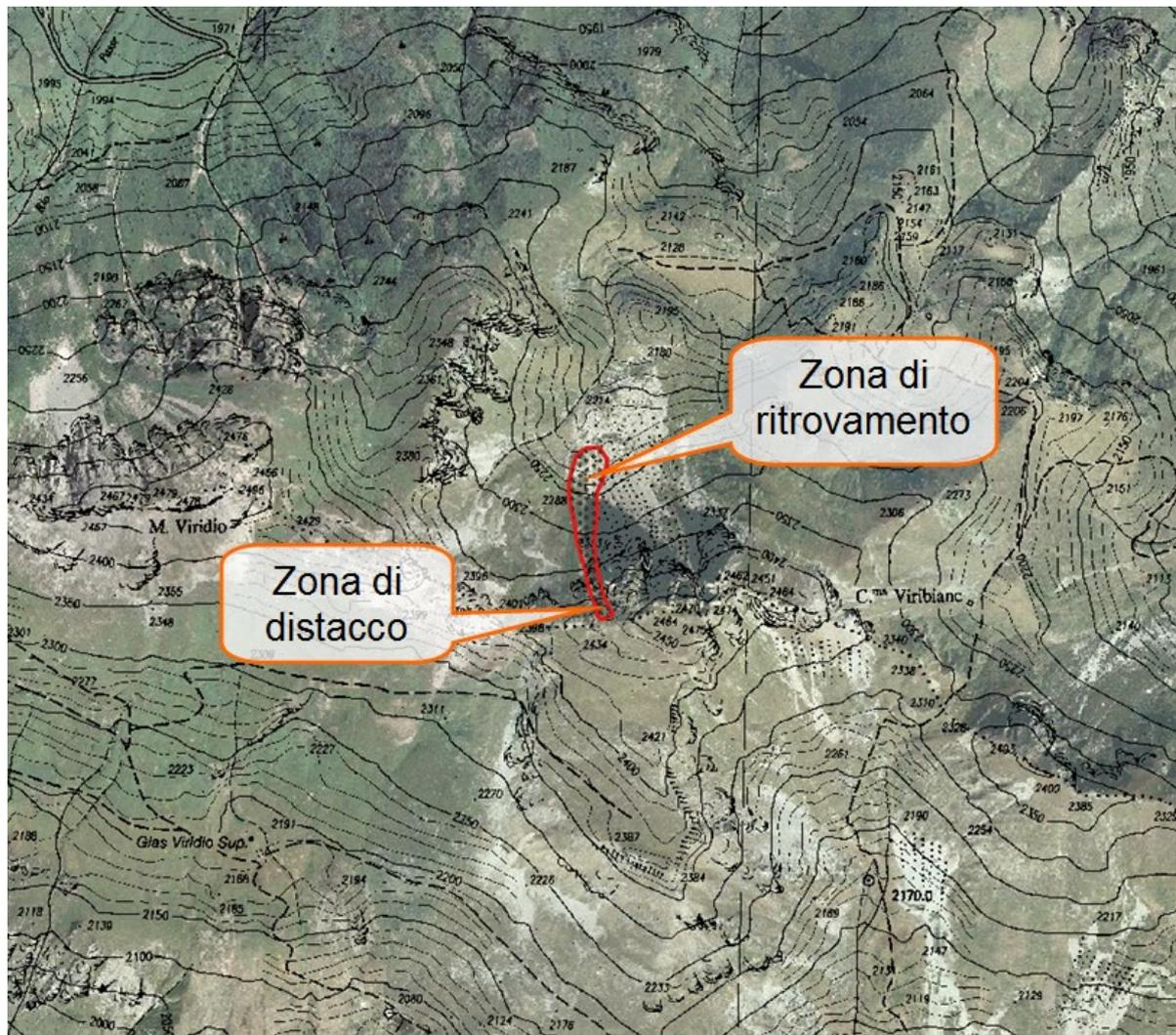
e l'**Unità Cinofila da Valanga**
del Soccorso Alpino
e Speleologico Piemontese

Il racconto di Roberto e dei soccorritori che lo hanno trovato

L'avventura di Roberto inizia la mattina del 6 febbraio 2018 quando decide di partire in solitaria per una gita di scialpinismo. Sale verso il monte Viribianc nel comune di Castelmagno seguendo delle tracce parzialmente ricoperte dalla debole nevicata della notte. Arrivato in cima si gode il panorama per alcuni minuti, si prepara e inizia la discesa. Dopo poche curve viene travolto da una valanga che lo trascina per alcune decine di metri. A casa Cristina la sua compagna inizia a preoccuparsi per il mancato rientro e dopo alcune ore allerta i soccorsi. L'elicottero arriva sul luogo dell'incidente verso le 16:30, Roberto viene individuato e disseppellito dopo pochi minuti. La squadra di soccorso si accorge che è ancora vivo e lavora in sintonia contro il tempo per ospedalizzarlo il prima possibile. Roberto si risveglierà 24 ore dopo nell'ospedale di Cuneo solo con qualche ammaccatura, perfettamente cosciente di quanto accaduto e felice di poter raccontare la sua (dis)avventura.

Roberto's adventure begins on the morning of 6 February 2018 when he decides to go out for a solitary ski tour. He goes up to the Viribianc mountain in the municipality of Castelmagno following some tracks partially covered by the weak snowfall of the night. Reached the top, he enjoys the view for a few minutes, then he prepares and begins to descend. After a few corners he is swept away by an avalanche that drags him for some tens of meters. At home, Cristina, his partner, begins to worry about long absence and after a few hours she alerts the rescuers. The helicopter arrives at the accident site around 4.30pm, Roberto is located and unearthed after a few minutes. The rescue team realizes that he's still alive and fight against the time to hospitalize him as soon as possible. Roberto will wake up 24 hours later in the hospital of Cuneo, perfectly conscious and with only a few bruises, happy to be able to tell his (dis) adventure!





LA GITA DI ROBERTO

È il 6 marzo del 2018, nella notte sono caduti circa 15 cm di neve così quando mi sveglio decido, come una miriade di altre volte, di ritagliarmi una mattinata per andare a fare una gita di sci alpinismo. L'idea è quella di fare una giro veloce vicino a casa, sul Tibert, in Valle Grana. Prima di salutarmi, la mia compagna Cristina si informa su quale sia la mia destinazione e fa le solite raccomandazioni del caso, ma la tranquillizzo perché la zona è sicura ed è parecchio frequentata.... non sarò solo!

1° Consiglio: avvisare sempre familiari o amici sul luogo previsto della gita

Parto da Caraglio dove abito verso le 9 per raggiungere il parcheggio del Santuario. Quando arrivo però, il Tibert è già al sole così decido di cambiare itinerario

e dirigermi sul Viridio dove il pendio più a nord mi garantirà una sciata migliore. Riprendo la macchina e raggiungo il parcheggio di Chiappi dove scambio due parole con il proprietario dell'agriturismo prima della partenza... in solitaria. Già perché in giro non si vede nessuno, solo qualche traccia del giorno prima coperta dalla neve della notte, utile però visto che il percorso è tutto da battere.

2° Consiglio: se possibile evitare di partire da soli

Mentre salgo si fanno strada pensieri contrastanti; da una parte mi prende uno strano senso di insicurezza: "Sono solo... ha appena nevicato... le temperature sono alte..."; dall'altra mi dico: "È una vita che vai, non ti è mai successo nulla, perché fare il "coniglio" Probabilmente questo non succede quando si è in compagnia, ci si sente più sicuri mentre si chiacchiera verso la

vetta col fiatone.

Verso le 11:50 sono in cima!

Scatto qualche foto al panorama e poi mi preparo per la discesa.

All'ultimo indosso anche una giacca che avevo riposto nello zaino, anche se la giornata infondo non è fredda. Un particolare, apparentemente insignificante, che farà la differenza. Senza la giacca forse non sarei qui a raccontare la mia storia.

3° Consiglio: utilizzare un abbigliamento adeguato

Inizio la discesa lungo la dorsale dove la neve ventata è brutta da sciare. Mi fermo e decido di fare qualche curva tenendomi alto. Mi fermo nuovamente con l'intenzione di valutare la situazione.... ma non ho tempo!

Immediatamente ho la sensazione che tutto sotto ai miei piedi si stia muovendo, alzo lo sguardo e vedo il pendio che

si stacca! Il cuore mi salta in gola e in un attimo tutto diventa confuso; vengo travolto da un'onda di neve che mi porta con se, rotolo per un tempo indefinito, senza più sapere se sono a testa in su o a testa in giù.

Finalmente tutto si ferma, apro gli occhi e vedo bianco, mi rendo conto di essere fortunato perché ho la bocca libera e riesco a respirare anche se in maniera affannosa. Subito dopo provo a muovermi, le braccia sono bloccate, ma riesco a muovere una gamba e questo mi dà fiducia e speranza. Penso che potrò liberarmi da solo e che alla fine sarà solo una brutta avventura da raccontare agli amici più stretti. Non so se, e quanto, lotto per liberarmi, perché il tempo da quando sono stato travolto non riesco più a quantificarlo, ma ad un certo punto cado in un sonno profondo e beato come non mi succedeva da tempo.....

L'ATTESA DI CRISTINA

Nel frattempo Cristina, la compagna di Roberto, trascorre la mattinata impegnata nelle proprie attività, con una strana sensazione addosso, non è tranquilla a saperlo fuori da solo.

Verso le 12:30 lo cerca al telefono, ma risulta irraggiungibile. Riprova dopo mezzora e poi dopo un'altra mezzora. Si sono fatte le 13:30 e per Roberto inizia ad essere un po' troppo tardi. Cristina

conosce bene gli orari di Roberto e inizia a preoccuparsi seriamente. L'idea di attivare l'allarme viene frenata dal timore di azionare inutilmente tutta la complessa macchina dei soccorsi.... Magari solo per un banale contrattempo.

Cristina allora chiama alcuni amici di Roberto che cercano di tranquillizzarla. L'ansia tuttavia sale perché Roberto continua ad essere irraggiungibile e l'ansia diventa panico. Insieme a Danilo, un amico e compagno di gite di Roberto, decidono di andare a Castelmagno da dove sarebbe dovuto partire Roberto per la gita, per cercare di capire cosa può essere successo.

Lungo la strada allertano i soccorsi perché ormai è veramente troppo tardi e Roberto potrebbe essersi fatto male magari per una brutta caduta.

Quando arrivano al santuario di Castelmagno si accorgono che la macchina, in realtà, è parcheggiata a Chiappi, poco più a valle... unica macchina sul parcheggio ancora bianco di neve.

Si vede la traccia di Roberto che sale verso il Viridio, ma nulla di più. Intanto Cristina rimane in contatto costante con i soccorsi per aggiornarli sulla situazione.

Anche Cristina perde la cognizione del tempo. Viene travolta dalla consapevolezza che è passato molto tempo, forse troppo. Pensa a Roberto nella neve, da solo e con un grande senso di impotenza

INCIDENTI DA VALANGA

si rende conto che non può far altro che aspettare e sperare.....

I soccorsi nel frattempo sono arrivati in zona!

IL SOCCORSO

Sono le 16:11 quando squilla il telefono della base di elisoccorso dell'Emergenza sanitaria piemontese a Levaldigi (Cn).

È il Tecnico di Centrale operativa del Soccorso Alpino e Speleologico Piemontese che attiva l'intervento per il mancato rientro di uno scialpinista solitario in Val Grana. L'allarme è stato lanciato dalla compagna dell'uomo che si è recata in loco e ha individuato l'automobile parcheggiata alla partenza dell'itinerario verso il Monte Viribianc. Ci si prepara per il decollo: l'equipe sull'elicottero è composta da pilota, tecnico di volo, medico e infermiere del servizio sanitario regionale e tecnico del Soccorso alpino. Durante i mesi invernali in base è sempre presente anche l'Unità cinofila da valanga del Soccorso alpino che in questa situazione viene imbarcata per avere tutte le risorse a disposizione viste le informazioni frammentarie sull'intervento.

Alle 16.34 il velivolo giunge in zona per effettuare un primo sorvolo alla ricerca di possibili tracce dello scialpinista disperso. Dal portellone si individuano i segni di una prima valanga, ma l'atten-



INCIDENTI DA VALANGA

zione degli operatori viene attirata da un grosso distacco sotto la cima della montagna da cui, avvicinandosi meglio, si riescono a scorgere due sci che spuntano dalla neve. Rapidamente l'elicottero si reca a Castelmagno per effettuare il cosiddetto campo base dove viene scaricato l'infermiere e una parte di materiale in modo da alleggerire il mezzo.

Alle 16.38 iniziano le operazioni di sbarco sulla valanga: il tecnico di elisoccorso

scende in hovering, l'unità cinofila e il medico vengono calati con una breve verricellata. Il tecnico con il proprio Artva aggancia un segnale a circa 50 metri di distanza mentre il conduttore lancia il cane e inizia a sua volta la ricerca Artva. Anche il cane individua una traccia di odore che segue finché non inizia a scavare. Nello stesso punto giungono a brevissima distanza i tecnici guidati dagli apparecchi Artva.

4° insegnamento: importanza di indossare Artva acceso e funzionante anche in caso di gite solitarie

Si inizia a scavare saltando la fase del sondaggio e subito emerge uno scarponne, appena sotto la superficie nevosa. Nel frattempo il cane con le zampe ha aperto un varco nella neve proprio in prossimità del volto.

Appena disseppellito il volto di Roberto ci si rende conto che è vivo, e questo da



un'energia incredibile a tutti i soccorritori! Mentre il medico visita Roberto, il tecnico cinofilo prosegue con il disseppellimento il più rapidamente possibile e il tecnico del soccorso alpino corre a recuperare l'infermiera che sta raggiungendo la squadra con la barella. Appare infatti chiaro a tutti che è fondamentale ospedalizzare Roberto il più rapidamente possibile.

Clinicamente è un paziente molto agitato, non collaborante (effetto dell'ipotermia grave) che non mostra segni di altre importanti lesioni ossee o toracoaddominali. Non sbrivida ormai più, e questo permette all'equipe medica di stimare una temperatura corporea inferiore a 28° C, valore estremamente basso che lo mette a rischio di arresto cardiaco da un momento all'altro.

Completato il disseppellimento Roberto viene posizionato sulla barella verricellabile cercando di ridurre al minimo qualunque movimento.

Alle 17:12 l'eliambulanza decolla verso l'ospedale di Cuneo, centro più vicino in cui poter riscaldare Roberto con tecniche di riscaldamento "avanzate". In elicottero si cerca di monitorarlo, per quanto possibile, visto il grado di agitazione e i numerosi strati di indumenti sportivi che indossa, mentre gli somministriamo ossigeno e un analgesico per via intraossea.

Il tecnico di elisoccorso e l'unità cinofila, restano sulla valanga per continuare con la bonifica appurando che non sono presenti altri travolti. Verranno recuperati con una rotazione successiva.

Le ricostruzioni rese possibili dallo smart watch indossato dal paziente dimostrano che è rimasto sepolto sotto la neve per quasi 5 ore: un caso di sopravvivenza più unico che raro.

IL RISVEGLIO

Mi sveglio e non ricordo nulla, fatico a capire dove sono, ma poi tutto d'un tratto mi torna in mente la valanga! Tutti i pezzi tornano al loro posto e capisco dove sono e perché.

Passo tre giorni in ospedale e poi final-



mente a casa!

La prima settimana dopo le dimissioni sono abbastanza a pezzi, in ospedale non sentivo dolori probabilmente per i medicinali, ma ora escono tutte le magagne anche se per fortuna nulla di grave. Dopo una settimana torno a lavoro, mi fa bene tornare alla vita di tutti i giorni, mi tiene attivo e presto mi torna anche la voglia di andare a sciare.

La testa ogni tanto mi dice di andare, altre volte mi frena; talvolta penso che dovrei mollare per un po' altre volte sono fiducioso e penso di riprendere.....

Il 25 aprile con l'amico e compagno di avventure Danilo decido di salire al Pienasea. La giornata splendida, c'è un sacco di gente, mi godo la salita e il panorama intorno: così si chiude un capitolo e se ne apre un altro!!

INCIDENTI DA VALANGA IN ITALIA STAGIONE 2018-2019

Stefano Pivot
Regione Autonoma
Valle d'Aosta
Aspetto idrogeologico
dei bacini montani
Ufficio neve e valanghe

AVALANCHE ACCIDENTS IN ITALY Season 2018-2019

The number of avalanche accidents in the season 2018-2019 was much lower than the historical average: AINEVA avalanche offices were able to gather sufficient information on 42 avalanche accidents. The number of accidents, and also the number of buried people, was reduced by half compared to the previous season. On the whole, 73 people were buried by avalanches, with 15 casualties, 22 injured people and 36 unharmed people. There were 12 fatal accidents, 29% of the total.

La stagione 2018-2019 ha visto un numero di incidenti da valanga decisamente inferiori alla media storica: 42 incidenti di cui gli uffici neve e valanghe AINEVA sono venuti a conoscenza e sono riusciti a raccogliere sufficienti informazioni. Rispetto alla stagione precedente, il numero degli incidenti, ma anche il numero dei travolti, è dimezzato. Complessivamente sono state **travolte 73** persone di cui **15 morti, 22 feriti e 36 illesi**. Gli incidenti mortali sono stati 12, il 29% del totale.



INCIDENTI DA VALANGA

Nella pagina precedente: Valle d'Aosta, conca di Pila. Valanga provocata a distanza in fuoripista senza travoliti: un quasi incidente.

Come si può vedere dal grafico della serie storica ultratrentennale dei morti in valanga in Italia (fig. 1), è difficile evidenziare una tendenza, perché l'andamento è altalenante.

Bisogna essere cauti nell'analisi statistica di questi dati, perché i numeri del database sono troppo piccoli e quindi piccole variazioni hanno un grande peso. Il problema non riguarda solo il database dell'Italia ed è conosciuto internazionalmente: infatti per poter fare studi solidi e di qualità, si cerca di mettere insieme i dati riguardanti almeno tutto l'arco alpino (dalla Francia, all'Italia, Svizzera, Austria, Germania, Liechtenstein e Slovenia) e a volte anche a livello mondiale. Ne è un esempio lo studio sull'efficacia degli airbag, fatto recentemente dai canadesi ("The effectiveness of avalanche airbags" di Pascal Haegeli et al. 2014), utilizzando dati internazionali, anche quelli italiani forniti da AINEVA. E quindi, come fare per avere un buon database che consenta di analizzare adeguatamente gli incidenti da valanga? Come superare le numerose reticenze nel voler raccontare di aver visto/subito/causato un distacco di valanga, più o meno piccola? Una proposta, già utilizzata nel mondo del lavoro per valutare e limitare gli infortuni: sarebbe interessante focalizzarsi sui **quasi incidenti** (i cosiddetti near miss/ close call) perché in questo caso le persone hanno meno remore nel raccontare l'accaduto e perché spesso il quasi incidente si differenzia dall'incidente solo per una dose di fortuna (il famoso "fattore C").

Chiudiamo questa digressione e torniamo alla stagione 2018-2019. Come avrete capito, il fattore principale che influenza il numero di incidenti da valanga è l'andamento della stabilità del manto nevoso. E' una considerazione logica, ma anche un po' sconcertante: indipendentemente dalle capacità o dall'esperienza degli sciatori/alpinisti/escursionisti, le annate con molti giorni instabili hanno un più alto numero di incidenti. Vediamo quindi un breve riepilogo dell'andamento stagionale: in breve, è stata una **stagione invernale con un manto nevoso abbastanza stabile, interrotto da alcuni momenti pericolosi**. L'esempio dei lunghi periodi stabili lo si ritrova nel riepilogo dei bollettini valanghe: sia nel nord-est sia nel nord-ovest è stato utilizzato a lungo il grado di pericolo 1-debole, anche nei mesi invernali centrali. Spesso i brevi periodi instabili erano concomitanti alla nevicata e al maltempo, che non invogliava le attività ricreative e quindi diminuiva le possibilità di avere un incidente.

La stagione è iniziata molto presto, alla fine di ottobre, soprattutto nel nord-est dell'Italia, ed è finita tardi, con il mese di maggio freddo e instabile. C'è stata una scarsa copertura nevosa sotto i 2000 m di quota e una grande differenza di innevamento tra i pendii nord e sud. Lungo il confine nord-est l'inverno è stato simile all'Austria, con molta neve. In generale è stata una stagione ventosa e quindi molti incidenti da valanga sono legati ai lastroni da vento. Infine una particolarità: abbiamo avuto molte **valanghe**

spontanee **di tipo primaverile** (neve pesante, umida/bagnata) anche in pieno inverno. E' una condizione a cui non siamo abituati, che quindi ci coglie di sorpresa, ma dobbiamo tenerne conto perché negli ultimi anni si è ripetuta più volte e quindi non può più essere considerata una rara eccezione.

Tornando alle statistiche, il numero di decessi è stato inferiore alla media trentennale (15 morti su 20 media trentennale). A livello regionale, la maglia nera se l'aggiudica la Valle d'Aosta con 6 morti e il Trentino-Alto-Adige con 4 morti. Ben 6 **vittime**, il **40%** del totale, **erano stranieri**: 2 francesi e uno, rispettivamente, polacco, svizzero, belga e neozelandese.

In generale gli incidenti da valanga (fig. 2) hanno riguardato nel 52% dei casi gli scialpinisti (55% in salita, 45% in discesa), nel 24% sciatori fuoripista e ancora nel 24% gli alpinisti. Nessun incidente ha visto coinvolti ciaspolatori e in un incidente è stato coinvolto parzialmente un mezzo battipista.

La distribuzione degli incidenti rispetto al grado di pericolo previsto dal bollettino valanghe non porta a sorprese particolari: ci sono stati 3 incidenti con grado di pericolo 4-forte, 20 incidenti con grado 3-marcato, 11 con grado 2-moderato e 3 con grado 1-debole. Unica particolarità: ben 5 incidenti (il 12% del totale) sono avvenuti in assenza di un bollettino con grado di pericolo, perché 4 sono avvenuti nel mese di novembre, prima che iniziasse la pubblicazione dei bollettini, e uno a metà giugno, quando ormai la stagione invernale era conclusa. La distribuzione degli incidenti nei mesi invernali, conferma la presenza di alcuni giorni critici all'interno di una stagione relativamente stabile e tranquilla. Poco meno della metà degli incidenti sono avvenuti tra i mesi di febbraio (26%) e marzo (21%). Il periodo più critico sono i quattro giorni compresi tra sabato 2 febbraio e martedì 5 marzo, quando sono avvenuti 8 incidenti ovvero il 19% del totale. Questi quattro giorni, sommati al 24 e 25 novembre (n. 3 incidenti), al

Fig. 1 - Serie storica delle vittime in incidenti da valanga dal 1986 al 2019; in media ogni anno muoiono 20 persone.

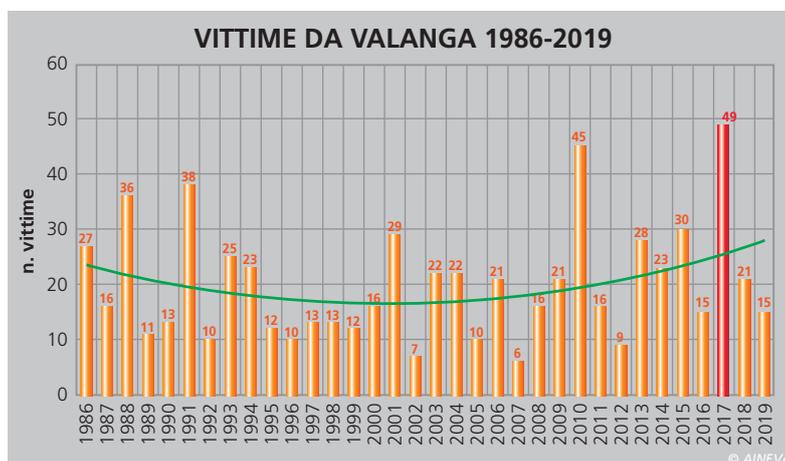


Fig. 2

INCIDENTI DA VALANGA IN ITALIA - STAGIONE 2018/2019									
N	DATA	LOCALITÀ	REGIONE	CAT	GRADO PERICOLO	TRAVOLTI	ILLESI	FERITI	MORTI
1	24/11/2018	Alta Val Chisone - Colle della Rognosa (Sestriere, TO)	Piemonte	1	/	1	1	0	0
2	24/11/2018	Valle Po - Viso Mozzo (Crissolo)	Piemonte	2	/	1	1	0	0
3	25/11/2018	Val d'Ultimo - Kirchbergjoch	Trentino-Alto Adige	1	/	7	7	0	0
4	01/12/2018	Valchiavenna - Pizzo Ferré	Lombardia	1	/	2	2	0	0
5	08/12/2018	Valtournenche - Chamois - Col Pillonet	Valle d'Aosta	1	3	1	0	0	1
6	11/12/2018	Livigno - Vallaccia	Lombardia	8	3	1	1	0	0
7	11/12/2018	Livigno - Monte della Neve	Lombardia	3	3	1	0	1	0
8	12/01/2019	Val Aurina, Am Archl	Trentino-Alto Adige	1	3	1	1	0	0
9	15/01/2019	Solda - seggiovia Pulpito	Trentino-Alto Adige	8	3	1	1	0	0
10	19/01/2019	Valle Aurina - Impianti Monte Spico	Trentino-Alto Adige	3	2	2	1	0	1
11	19/01/2019	Selva Gardena - Vallelunga	Trentino-Alto Adige	5	2	1	0	0	1
12	19/01/2019	Val Ridanna - Cima del Tempo	Trentino-Alto Adige	1	3	2	2	0	0
13	02/02/2019	Passo Pordoi - Belvedere	Veneto	3	4	3	2	1	0
14	03/02/2019	Valle Centrale - zona Punta Oilletta	Valle d'Aosta	1	3	1	0	0	1
15	03/02/2019	Livigno - Carosello 3000	Lombardia	3	4	1	0	0	1
16	03/02/2019	Val Vény - Courmayeur - Canale dello Spagnolo	Valle d'Aosta	3	3	4	0	0	4
17	03/02/2019	Comune di Sesto, croda Rosso di Sesto (fuori pista)	Trentino-Alto Adige	3	4	1	0	0	1
18	04/02/2019	Passo Giau - pista da sci Fedare	Veneto	8	3	1	1	0	0
19	05/02/2019	Val Degano - Monte Coglians	Friuli-Venezia Giulia	5	3	1	0	0	1
20	05/02/2019	Valle Chisone - Morefredo (Valtroncea)	Piemonte	2	3	1	0	0	1
21	12/02/2019	Valle dei Mocheni - Cima Mut - loc. Prati Imperiali	Trentino-Alto Adige	1	3	5	3	2	0
22	18/02/2019	Riva di Tures/Rein in Taufers - cascata/Milchtrinker Wasserfall	Trentino-Alto Adige	5	2	1	1	0	0
23	18/02/2019	Valle Isarco, Cima del Bersaglio - Eisacktal, Scheibenspitze	Trentino-Alto Adige	2	2	1	1	0	0
24	09/03/2019	Punta Melchiorre	Piemonte	5	2	2	1	1	0
25	12/03/2019	Monte Bianco - Ghiacciaio del Tola - Canalino del Cesso	Valle d'Aosta	3	3	1	0	1	0
26	12/03/2019	Monte Bianco - ghiacciaio Tola - Sotto Torrione d'Entreves	Valle d'Aosta	3	3	1	0	1	0
27	12/03/2019	Corno Gries	Piemonte	2	3	4	3	1	0
28	16/03/2019	Valdidentro - Val Viola	Lombardia	1	3	1	1	0	0
29	16/03/2019	Senales Lazaun	Trentino-Alto Adige	3	3	1	0	0	1
30	16/03/2019	Vipiteno, Cime Bianche di Telves	Trentino-Alto Adige	1	3	2	0	2	0
31	23/03/2019	Collalto parete sud	Trentino-Alto Adige	2	1	1	0	1	0
32	28/03/2019	Valle Aurina/Ahrntal - Punta del Conio/Keilbachspitze	Trentino-Alto Adige	1	2	3	1	2	0
33	05/04/2019	Grionkopf - Roja	Trentino-Alto Adige	2	3	1	1	0	0
34	18/04/2019	Gran Zebru	Trentino-Alto Adige	2	2	2	2	0	0
35	19/04/2019	Ortles parete nord	Trentino-Alto Adige	5	1	2	1	1	0
36	20/04/2019	Valfurva - Punta San Matteo	Lombardia	2	2	1	1	0	0
37	21/04/2019	Pasubio - Val Sant'Antonio	Veneto	5	2	1	0	0	1
38	27/04/2019	Monte Popera - Sesto	Trentino-Alto Adige	8	2	1	0	1	0
39	28/04/2019	Val di Brenta - Val dei Brentei (canalone Neri)	Trentino-Alto Adige	5	3	3	0	3	0
40	01/05/2019	Punta Bianca - Selva dei Molini	Trentino-Alto Adige	2	2	1	0	1	0
41	14/05/2019	Vallarsa-piccole Dolomiti - Pra degli Angeli	Trentino-Alto Adige	5	1	1	0	1	0
42	15/06/2019	Valfurva - Punta San Matteo - Parete Nord	Lombardia	5	/	3	0	2	1
						73	36	22	15

© AINEVA

12 marzo (3 incidenti) e al 16 marzo (3 incidenti), fanno un totale di 13 giorni in cui sono avvenuti il 40% degli incidenti da valanga della stagione.

Se analizziamo la distribuzione degli incidenti per esposizione, vediamo che sono toccate tutte le **esposizioni** in modo uniforme, con una leggera prevalenza per l'esposizione **nord** e quella **sud-est**. E' un dato importante che conferma ancora una volta il trend evidenziato negli ultimi anni, da cui ricaviamo due riflessioni; la prima: da quando Munter ha proposto il sistema di riduzione del rischio valanghe, in particolare quello più avanzato (definito anche professionale), sono sempre state demonizzate le esposizioni nord (nord puro o tutto il settore nord), perché giudicate molto più pericolose, sulla base dell'analisi statistica storica degli incidenti da valanga in Svizzera. Questa

valutazione puramente numerica non tiene in conto altri fattori; per esempio i pendii nord sono molto più frequentati perché la neve è presente per più tempo e perché spesso è più bella da sciare, più farinosa. Il dato statistico della stagione 2018-2019 sconfirma ancora una volta la tesi di Munter, perché gli incidenti da valanga hanno riguardato tutte le esposizioni, con una distribuzione abbastanza uniforme. Seconda riflessione: negli ultimi anni dalle statistiche italiane emerge un'esposizione critica, un po' sottovalutata in passato, il sud-est. Per esempio nella stagione 2018-2019 nella provincia dell'Alto Adige il maggior numero degli incidenti è avvenuto proprio alle esposizioni sud-est.

La distribuzione degli incidenti per altitudine riflette le condizioni di innervamento, particolarmente deficitarie in bassa quota. Il 19% degli incidenti da

valanga è avvenuto sopra i 3000 m, il 34% tra 2500 e 3000 m, il 31% tra 2000 e 2500 m e il 16% tra i 1800 e i 2000 m. Poco meno del 60% degli incidenti è avvenuto in zona di cresta. Il 76% degli incidenti ha visto il distacco di lastroni superficiali, dato che conferma per la stagione 2018-2019 la presenza di lastroni da vento quale problema valanghivo principale. La maggior parte delle valanghe aveva una dimensione piccola o, al più, media. In due incidenti la valanga aveva grandi dimensioni: in un caso erano presenti 10 persone suddivise in due gruppi, di cui uno in cresta e uno nel sottostante pendio. 7 persone sono state travolte, ma trovate tutte illese: una completamente sepolta, una semisepolta e 5 in superficie. In un secondo caso, che vedremo più avanti, c'erano 4 persone, tutte travolte, sepolte e decedute.

INCIDENTI DA VALANGA

Nel 78% dei casi l'incidente da valanga è avvenuto nei due giorni successivi alla nevicata: il 14% nel giorno della nevicata, il 46% nel primo giorno successivo e il 18% nel secondo giorno successivo. Per concludere, analizziamo alcuni incidenti da valanga che, nella loro dinamica, hanno particolarità interessanti che ci forniscono lo spunto per riflettere e imparare.

Il primo incidente esaminato è avvenuto il 24 novembre 2018 in Piemonte, nella zona del Monviso. Tre scialpinisti stanno facendo la traccia in salita quando un lastrone travolge una persona. Lo sciatore non ha l'ARTVA, ma indossa l'airbag che aziona prontamente; ciononostante viene totalmente sepolto sotto un metro di neve. Fortunatamente viene trovato illeso, dopo 15 minuti, dai due compa-

gni che hanno effettuato dei sondaggi casuali. Questo caso evidenzia ancora una volta i limiti dell'airbag. Pur essendo l'unico strumento che tenta di impedire il seppellimento, non sempre è efficace. In questo caso (vedi foto di Fig. 3) probabilmente la valanga era troppo piccola, così lo scialpinista non ha potuto essere "centrifugato" a lungo dalla valanga e, di conseguenza, l'airbag non ha potuto sfruttare sufficientemente il fenomeno della segregazione inversa per poter rimanere in superficie. E' evidente che l'ARTVA rimane comunque uno strumento indispensabile.

Il secondo incidente analizzato è avvenuto il 2 febbraio in Veneto, in una zona fuoripista adiacente alle piste (vedi foto di Fig. 4). Cinque ragazzi tra i 18 e i 20 anni sciano in fuoripista, nei pendii vicini

alle piste, tra l'altro con un pericolo valanghe previsto 4-forte; sono tutti senza ARTVA, sonda e pala. Tre sono travolti da una piccola valanga, ma in una tipica "trappola morfologica" e quindi, nonostante le modeste dimensioni (circa 20 x 30 m), la valanga seppellisce totalmente uno sciatore e parzialmente due sciatori. Fortunatamente vengono trovati illesi, scavando nella neve con le mani. Questo è un incidente tipico dei cosiddetti **sciatori fuoripista inconsapevoli**: non sono i classici freeriders attrezzati di tutto punto, ma sono persone che sciano in pista e che, attirati dalla bellezza della neve fresca, si avventurano nei pendii fuoripista poco distanti dalle piste, convinti di essere ancora all'interno del comprensorio protetto. Ricordiamo che il pericolo di valanghe sulle

Fig. 3 - Piemonte, Monviso, Viso Mozzo: scialpinista travolto da una valanga, con airbag ma senza ARTVA.





Fig. 4 - Veneto, zona Sellaronda, Passo Pordoi: 3 ragazzi travolti da una valanga in fuoripista, vicino alle piste. Senza ARTVA.

piste viene gestito dai comprensori con chiusure piste o con bonifiche preventive, mentre il fuoripista è, al pari dello scialpinismo, uno spazio di libertà nella natura e quindi lo si percorre a proprio rischio e pericolo ed è necessario farlo con una preparazione e un'attrezzatura adeguati. Le campagne di informazione e di sensibilizzazione ai pericoli del fuoripista difficilmente raggiungono queste persone, proprio perché sono convinte che il problema valanga non li riguardi. L'ultimo incidente analizzato è avvenuto il 3 febbraio in Valle d'Aosta, in una zona fuoripista a fianco del comprensorio sciistico di Courmayeur.

Due coppie di sciatori stranieri percorrono un canale fuoripista. I quattro non sono insieme, ma si ritrovano comunque insieme nella parte finale del canale, quando improvvisamente dall'alto, diverse centinaia di metri di dislivello più a monte, si stacca una valanga che li travolge. Tutti sono sepolti sotto oltre due metri di neve. Le ricerche partono tardi nel pomeriggio, in seguito alla segnalazione di mancato rientro, ma saranno ritrovati dal soccorso alpino solo il giorno successivo, tutti morti. In questo caso il distacco della valanga non è stato provocato dagli sciatori travolti, ma verosimilmente si è trattato di un distacco a distanza. Come avviene? Uno sciatore passa in un punto super fragile



Fig. 5 - Valle d'Aosta, Courmayeur: stratigrafia del lastrone che ha travolto e ucciso 4 persone.

del manto nevoso e innesca la rottura nello strato debole che si propaga lungo il pendio (non visibile in superficie, perché all'interno del manto nevoso), grazie alla semplice pressione esercitata dagli strati di neve soprastanti (il cosiddetto lastrone). L'innesco può avvenire anche in piano. Le tre fasi di innesco, propagazione della frattura e distacco avvengono quasi contemporaneamente al passaggio della persona.

Gli sciatori erano ben equipaggiati, nonostante la valanga è stata fatale. Ben venga l'investimento sull'attrezzatura, ma dobbiamo ricordarci che la valanga può essere comunque un evento traumatico e quindi dobbiamo puntare maggiormente sulla prevenzione. Tre persone avevano il casco e l'airbag: due hanno attivato l'airbag ma, essendo alla

base del canalone, vengono comunque completamente sepolte; una persona non attiva l'airbag, anche perché la maniglia era chiusa dalla cerniera. Un apparecchio ARTVA si è rotto a causa dell'impatto contro rocce o sassi avvenuto nel travolgimento.

RINGRAZIAMENTI

L'articolo è frutto di un lavoro corale, reso possibile grazie al prezioso lavoro di analisi e raccolta dati da parte di tutti i colleghi nivologi degli uffici neve e valanghe provinciali e regionali AINEVA che, ormai da decenni, alimentano il database AINEVA sugli incidenti da valanga, sicuramente il più completo in Italia, utile per conoscere le peculiarità e, di conseguenza, per poter attuare le migliori misure di prevenzione.





GLACIOLOGIA

2 Ghiacciaio di Dosd  Centrale
Rilievo GNSS/Aerofotogrammetrico,
prospezione georadar, valutazione dei
volumi dell'apparato glaciale

GHIACCIAIO, di DOSDÉ CENTRALE

**M. Fioletti, L. Bonetti
e F. Berbenni**

ARPA Lombardia - Centro
Nivometeorologico

M. Sterli e I. Stain
Studio di geologia applicata

**rilievo gnss/aerofotogrammetrico,
prospezione georadar, valutazione
dei volumi dell'apparato glaciale**

**DOSDÉ CENTRALE GLACIER
GNSS/aerophotogrammetric
survey, georadar prospecting,
evaluation of the glacial system volumes**

The Dosdé Centrale Glacier is a Lombard glacial system located in the Valdidentro municipality in the Sondrio province, in the northern side of Cime di Lago Spalmo Orientale (3,298 m a.s.l.). On this glacier, in summer 2018 Centro Nivometeorologico of ARPA Lombardia carried out a series of Georadar measurements together with GNSS (Global navigation satellite system) and APR (drone) surveys. The bedrock surface, which represents the sedimentary-rocky substrate, has been reconstructed by processing Georadar profiles homogeneously distributed on the whole glacier surface. The basal surface, once reconstructed in its tridimensionality, generates a digital model of terrain (dem - digital elevation model), which becomes a benchmark for the analysis of volumetric variations with time.

Concurrently, several GNSS and SAPR surveys have been carried out in order to reconstruct the model of glacial surface. By comparing superficial and basal dem models it is possible to quantify the glacier volumetry. A comparison between the surveys carried out in different years allows users to appreciate what the ablation dynamics are and locate possible differential ablation processes.

Understanding such phenomena allows us to improve our knowledge of glaciological dynamics and provides essential information to get accurate models and reliable forecasts on the availability of water resources from glaciers.

Il Ghiacciaio di Dosdé Centrale è un apparato glaciale Lombardo, situato nel comune di Valdidentro in provincia di Sondrio, sul versante settentrionale della Cima di Lago Spalmo Orientale (3298 m s.l.m.). Su tale ghiacciaio il Centro Nivometeorologico di ARPA Lombardia ha svolto, nell'estate 2018 una campagna di misure Georadar in concomitanza con rilievi GNSS (Global Navigation Satellite System) e APR (Aeromobile a Pilotaggio Remoto). La superficie del bedrock, che costituisce il substrato sedimentario-roccioso, è stata ricostruita grazie all'elaborazione di profili Georadar distribuiti uniformemente sull'intera superficie del ghiacciaio. La superficie basale, una volta ricostruita nella sua tridimensionalità, produce un modello digitale del terreno (dem - digitale elevation model), che diviene un caposaldo di riferimento per l'analisi delle variazioni volumetriche nel tempo. In parallelo sono stati svolti rilievi GNSS e APR al fine di ricostruire il modello della superficie glaciale. Il confronto tra dem superficiale e basale permette di quantificare la volumetria del ghiacciaio. Il confronto tra rilievi eseguiti in anni diversi consente di apprezzare quali siano le dinamiche di ablazione e di localizzare eventuali processi di ablazione differenziale. La comprensione di tali fenomeni permette di incrementare la conoscenza sulle dinamiche glaciologiche ed apporta essenziali informazioni per ottenere modelli accurati e previsioni attendibili sulla disponibilità della risorsa idrica di origine glaciale (Fig.1).





Fig. 2 - Cime di Lago Spalmo e Ghiacciai di Dosdè.

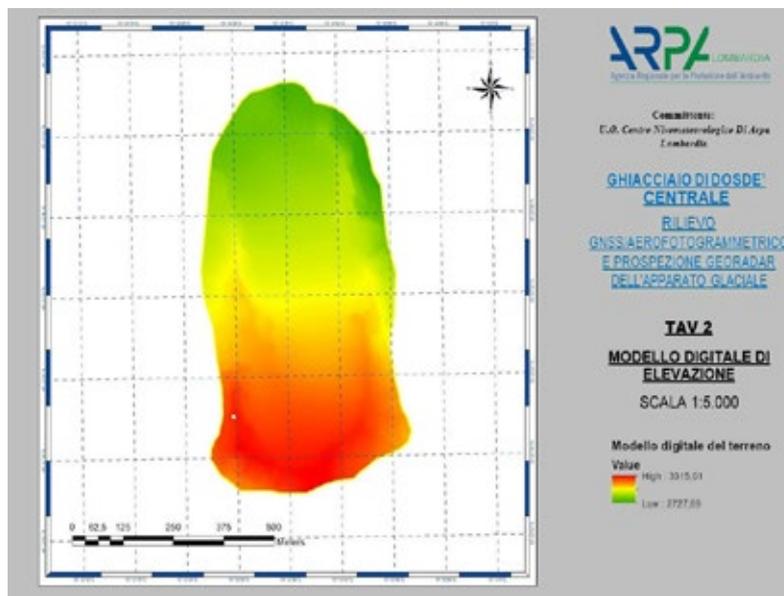


Fig. 3 - Distribuzione dello spessore del ghiaccio.

INQUADRAMENTO TERRITORIALE

Il ghiacciaio di Dosdè Centrale è posto in Val Viola Bormina in comune di Valdidentro (So). Geograficamente è ubicato nelle Alpi Retiche Occidentali, sulla catena montuosa Piazzini-Paradisino.

La vedretta si estende sul versante settentrionale delle Cime di Lago Spalmo Orientale (3298 m s.l.m.), a quote all'incirca comprese tra 2780 e 3240 m s.l.m. ed ha una superficie di 18 ha (Fig.2).

Le finalità delle indagini svolte nel settembre 2018 sono state:

- Rilievo dell'andamento della superficie glaciale e delle aree adiacenti, con re-

stituzione ortofotografica e con elaborazione del modello digitale di elevazione (DEM) della superficie;

- Rilievo della superficie substrato roccioso;
- Modellazione dei dati raccolti e stima dei volumi di ghiaccio.

AEROFOTOGRAMMETRIA E DEM DELLA SUPERFICIE

Il rilievo del Ghiacciaio di Dosdè Centrale è stato ottenuto con due voli distinti, per un tempo nominale complessivo di volo (per il solo rilievo) di 17':55", e con una distanza nominale di volo di 13090 m. Le misure aerofotogrammetriche sono state eseguite da un sistema così composto:

- **APR (Aeromobile a Pilotaggio Remoto)** tutt'ala in materiale espanso nero (EPP) con fotocamera alloggiata in un apposito vano posto nella parte inferiore e batterie al litio che permettono una autonomia di oltre 45 minuti di volo operativo.
- **Stazione di terra** composta da un PC dotato del software di volo e da un radiocomando manuale. Durante il volo l'interfaccia utente permette un controllo in tempo reale dei parametri sottoelencati:
 - posizione GPS
 - altezza
 - distanza dalla Stazione di Terra
 - tensione batteria
 - numero di satelliti agganciati
 - potenza del segnale radio
 - intensità del vento
 - direzione del vento.

Per permettere la georeferenziazione assoluta delle acquisizioni aero-fotogrammetriche, sono stati posizionati a terra diversi "target", georeferenziati tramite rilievo topografico con metodologia GNSS (Global Navigation Satellite System).

L'elaborazione dei dati acquisiti ha permesso di ricostruire la topografia della superficie glaciale della Vedretta di Dosdè Centrale. In particolare, si è ottenuto un'ortofotografia dell'area di indagine



Fig. 4 - Operazioni di rilievo georadar sez.8.

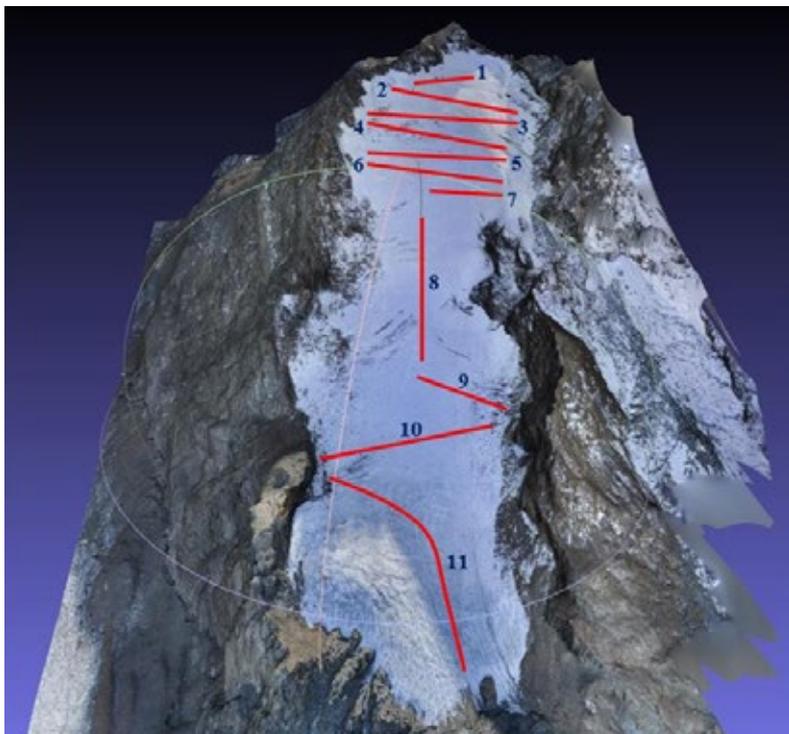


Fig. 5 - Distribuzione sezioni del rilievo georadar.



Fig. 6 - Operazioni di rilievo georadar sez.5.

GLACIOLOGIA

con risoluzione media intorno a 4 cm/px e un modello digitale del terreno DEM (DIGITAL ELEVATION MODEL) con risoluzione media inferiore a 20 cm/px (Fig.3).

RILIEVO DELLA SUPERFICIE DEL SUBSTRATO ROCCIOSO

E' stata inoltre eseguita un'indagine georadar per la corretta misura della profondità del bedrock (Fig.4).

La metodologia G.P.R. (Ground Probing Radar) si basa sull'utilizzo di onde elettromagnetiche ad alta frequenza, immesse, riflesse e ricevute al fine di acquisire informazioni sullo stato fisico esistente nei materiali indagati.

Le modalità di propagazione di tali onde sono strettamente legate alle costanti dielettriche dei materiali, a loro volta dipendenti dallo stato fisico dei materiali

(densità, porosità, permeabilità, conducibilità etc.). Tutte le interfacce che separano materiali con caratteristiche diverse possono quindi essere individuate, in modo tanto più certo quanto più alto è il contrasto fisico.

Operativamente, attraverso un dispositivo trasmittente-ricevente denominato antenna, collegato ad un registratore grafico, viene inviata nel mezzo di indagine una serie continua di impulsi elettromagnetici ad alta frequenza. In corrispondenza delle superfici di discontinuità una parte dell'energia trasmessa è riflessa e captata dalla sezione ricevente dell'antenna, un'altra parte penetra ulteriormente e potrà essere riflessa da una superficie sottostante. Contemporaneamente al movimento dell'antenna, il registratore grafico produce una sezione continua spazio-tempo nella quale si osservano le tracce delle diverse riflessioni (o, co-

Fig. 7 - Esempio di risultato interpretazione di una sezione georadar.

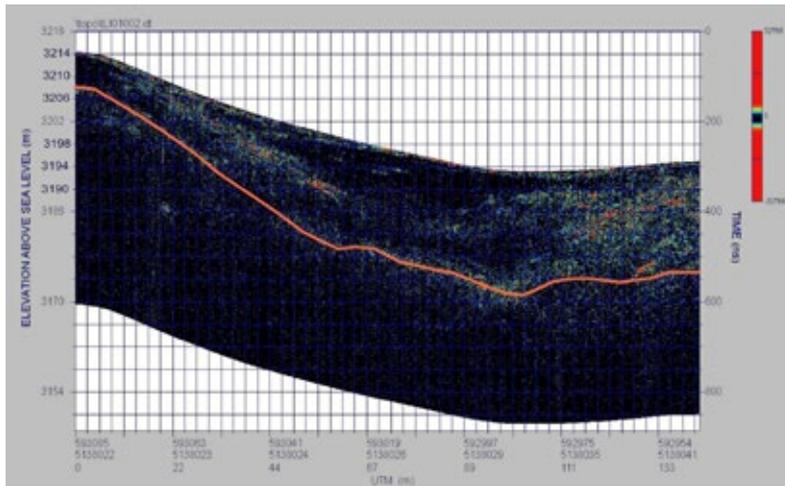


Fig. 8 - Parte centrale e inferiore del ghiacciaio.



munque, delle anomalie nella risposta). La profondità massima di esplorazione è funzione della frequenza dominante del segnale emesso e della resistività elettrica del terreno.

Il dato ottenuto dalla prova è denominato sezione radarstratigrafica o radargramma; ha carattere qualitativo poiché consente l'interpretazione delle caratteristiche delle diverse "riflessioni" sotto forma di geometria e di intensità del segnale ricevuto.

La sezione riporta in ascissa i valori delle distanze misurate e in ordinata i valori di profondità derivati dai tempi di registrazione, nota la velocità dell'onda.

Fig. 9 - Operazioni di rilievo georadar nella parte terminale del ghiacciaio.



Conoscendo le principali grandezze fisiche elettromagnetiche dei terreni attraversati è possibile trasformare la sezione distanze-tempi in una sezione distanze-profondità.

Il rilievo è stato effettuato avvalendosi di una strumentazione composta da un Radar in array con 2 antenne da 200 Mhz e da 600 con configurazione a 2 canali. Sulla superficie del Ghiacciaio di Dosedè Centrale sono stati eseguiti 11 stendimenti per una lunghezza complessiva di 1600 m (Figg. 5 e 6).

RISULTATI

I rilievi georadar eseguiti, grazie alle

particolari caratteristiche dielettriche dei materiali indagati, hanno permesso di verificare gli spessori del Ghiacciaio di Dosedè Centrale e, conseguentemente, di ricostruire l'andamento del letto del substrato roccioso sottostante. Nel settore superiore, ove si sono infittite le linee di scansione, lo spessore del ghiaccio varia dai 20 – 30 m delle porzioni centrali ai pochi metri dei bordi.

Come previsto, in corrispondenza del cambio di pendenza di quota 3050 m s.l.m. circa, la profondità del substrato roccioso è fortemente ridotta (min 8 ÷ 10 m). Procedendo verso il piede della scarpata centrale lo spessore riscontrato del

ghiaccio aumenta progressivamente sino a raggiungere valori massimi di 20 a 30 m e oltre, riducendosi poi gradualmente proseguendo verso la fronte.

L'elaborazione dei dati acquisiti ha permesso di ricostruire i volumi attuali del ghiacciaio; la massa del Ghiacciaio di Dosedè Centrale è stata stimata in circa 3.000.000 m³.

La modellazione del substrato roccioso rappresenta un punto fondamentale e fermo per il monitoraggio futuro del ghiacciaio e la stima della sua riduzione di massa, consentendo un immediato confronto con le superfici modellate anno dopo anno (Figg. 7, 8 e 9).

